

LE POINT BIOLOGIQUE

Volume 17 - 2023


**Bombe de carbone
à retardement ?**

**Le cannabis
thérapeutique :
mythes et réalités**

**La fonderie Horne,
est-ce un scandale ?**

**Sommes-nous prêts
à un monde dominé
par les champignons ?**

**De plus en plus
allergiques... Aux
changements
climatiques !**



Cette petite famille de plongeon huard (*Gavia immer*) se retrouve sur le lac de notre centre écologique de Saint-Michel-des-Saints. Ils nous apaisaient tout au long de notre séjour en chantant le jour comme la nuit.

« La vérité est que le monde naturel est en train de *changer*. Et nous sommes totalement *dépendants* de ce monde. Il nous fournit de la *nourriture*, de *l'eau* et de *l'air*. C'est ce que nous avons de plus *précieux* et nous devons le *défendre*. »

Sir Attenborough

Édité par le regroupement des étudiant(e)s en biologie de l'Université du Québec à Montréal (RÉÉBUQAM)

141 Président-Kennedy, Montréal, Québec,
H2X 1Y8, Canada, Local SB-R231
Téléphone : 514-987-3000 poste 4152
Courriel : reebuqam@gmail.com

Éditrice et rédactrice en chef

Gabrielle Boudreault

Coordinatrice administrative

Catherine Vadnais

Membres du comité

Guillaume Martel, Mathieu Lapalme, Tania Guillemette, Elizabeth Albert, Sandrine Girard, François-Xavier Habimana et Ariane Létourneau

Rédacteurs

Mathieu Lapalme, Elizabeth Albert, Gabriel Davidson-Roy, Hiba Benlyamani, Pierre Betti, Rayene Djaou, Amanda Zen, Yasmine Djenih, Gabrielle Harnois, Jaelle Landry, Hiba Qchiqach, Gabrielle Boudreault, Catherine Vadnais, Guillaume Martel, Sandrine Girard, Xavier Bolduc, Annie Boulé, Fanny Exantus, Raymond Fred Ekoum

Correcteurs

Ariane Létourneau, Mathieu Lapalme, Elizabeth Albert et Sandrine Girard

Graphisme et mise en page

Ékla agence créative

Comité de sélection

Marie Lambert-Chan, Véronik Lachance, Maikel Rosabal Rodriguez, Gabrielle Dubuc, Daniel Lemieux, Matthieu Philippe Devito, Daniel Rivest, Samuel Gladus, Suzie Goyer, Caroline Tétrault, Guillaume Robillard, Michel Chénier

Encadrement professoral

Denis Réal et Nicolas Pilon

Impression

Repro-UQAM

ISSN

1913-2697

Les textes publiés dans cette revue peuvent être reproduits, copiés, distribués ou modifiés pour autant que la source soit mentionnée. Cependant, les images ne peuvent être reproduites ou redistribuées.

Copyright Mai 2023

Pour rejoindre l'équipe de la revue, prière d'écrire au rédacteur en chef de l'année en cours : lepoint-biologiqueuqam@gmail.com ou boudreault.gabe@gmail.com

Cette revue est également disponible en version électronique : <https://lepointbiologique.com/volume-17-2023/>

Table des *matières*

06

**Le comité du
Point Biologique**

10

**Bombe de carbone
à retardement ?**

20

**Le cannabis
thérapeutique :
mythes et réalités**

32

**La fonderie Horne,
est-ce un scandale ?**

40

**Sommes-nous prêts
à un monde dominé
par les champignons ?**

50

**De plus en plus
allergiques... Aux
changements
climatiques !**



Gabrielle
Boudreault



Catherine
Vadnais



Guillaume
Martel

Le but du Point Biologique

Depuis sa création en 2007, Le Point Biologique s'est donné pour objectif de rendre les connaissances scientifiques acquises pendant le baccalauréat en biologie en apprentissage par problèmes plus accessibles en publiant une revue de vulgarisation scientifique. Nous souhaitons ainsi susciter l'intérêt pour la biologie et sensibiliser les lecteurs.trices à différents enjeux.

Notre revue scientifique vise à vulgariser des sujets complexes de manière accessible pour à tous, afin que chacun.e puisse apprendre et comprendre des concepts scientifiques fascinants. Nous cherchons également à susciter des débats et des discussions autour des enjeux scientifiques pour encourager la réflexion et la curiosité chez les lecteurs.trices.

En résumé, *Le Point Biologique* s'engage à rendre la biologie accessible à tous.

Nous sommes convaincus.es que la vulgarisation scientifique est essentielle pour élargir les horizons et inspirer la curiosité intellectuelle. Nous souhaitons ainsi offrir une plateforme de partage de connaissances, de réflexions et d'analyses sur les enjeux de la biologie. Nous espérons que notre revue scientifique permettra à nos lecteurs.trices de découvrir la beauté et l'importance de cette discipline captivante.

Le comité du *Point* *Biologique*



**Mathieu
Lapalme**



**Tania
Guillemette**



**Elizabeth
Albert**



**Sandrine
Girard**



**François-Xavier
Habimana**



**Ariane
Létourneau**

Cher(e) lecteur(rice),

Nous sommes ravis de vous présenter la 17^e édition du Point Biologique, notre revue de vulgarisation scientifique universitaire entièrement gérée par nous, des étudiants en biologie de l'UQAM. Nous avons travaillé d'arrache-pied pour concevoir cette édition et nous sommes fiers de dire que cette revue est une véritable vitrine pour les travaux de recherche que nous effectuons dans le baccalauréat en biologie.

Le choix des articles pour cette édition a été rigoureux. Nous avons fait appel à un jury de spécialistes de différents domaines, soigneusement sélectionnés par nous même, pour garantir que seuls les articles les plus pertinents et les plus captivants soient retenus. Nous avons ensuite passé des heures à réviser et corriger chaque article, veillant à ce que la qualité de la rédaction et la clarté des concepts scientifiques présentés soient au plus haut niveau.

Le travail acharné et la passion de notre comité se reflètent dans chaque page de cette édition. Nous tenons à remercier tous les étudiants impliqués dans la création de cette revue, ainsi que nos partenaires et nos sponsors qui ont soutenu ce projet. Leur engagement et leur dévouement ont été essentiels pour que cette édition soit une réussite.

Nous sommes convaincus que Le Point Biologique sera une source d'inspiration pour les futurs étudiants et pour tous ceux et celles qui s'intéressent à la recherche scientifique. Nous sommes fiers de notre revue et nous espérons que vous apprécierez cette 17^e édition autant que nous avons pris plaisir à la concevoir.

Cordialement,

Le comité responsable du Point Biologique!

« Je suis de ceux qui pensent que la *science* est d'une grande *beauté*. Un scientifique dans son laboratoire est non seulement un *technicien* : il est aussi un *enfant placé devant des phénomènes naturels* qui l'impressionnent *comme des contes de fées*. »

Marie Curie

Par Mathieu Lapalme,
Elizabeth Albert et
Gabriel Davidson-Roy

Bombe de carbone à retardement?



Fonte de pergélisol au Yukon

Relâchement massif de gaz à effet de serre, dégradation des écosystèmes, dommages aux infrastructures ou encore la libération de virus anciens. Nous savons déjà que nous sommes au bord d'un point de non-retour en ce qui concerne les changements climatiques. La planète se réchauffe 2,5 fois plus rapidement à ses pôles que dans l'ensemble des autres régions du monde! Les populations du Nord sont ainsi particulièrement sujettes à ressentir les conséquences environnementales et sociales de ces changements, notamment en raison de la fonte du pergélisol. Sommes-nous à l'aube d'une des catastrophes les plus importantes de notre ère ?

Qu'est-ce que le pergélisol ?

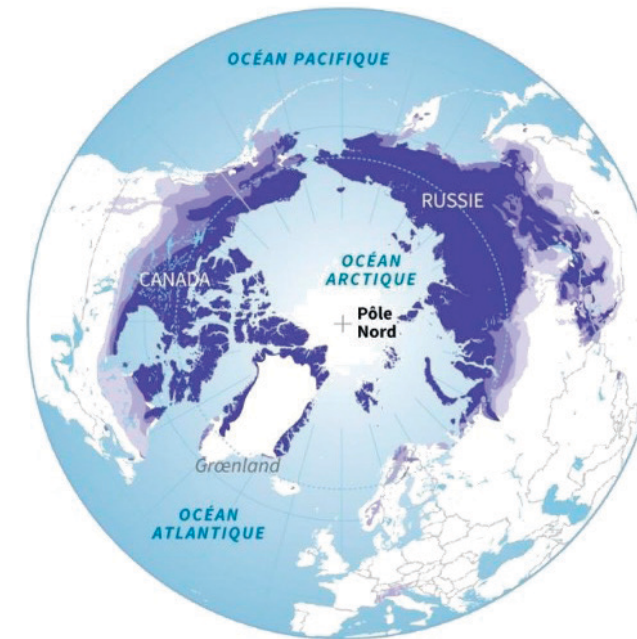
La tribu Yup'ik du village de Newtok en Alaska est prise au dépourvue par l'effondrement inattendu de l'école du village. Elle devra être reconstruite sur des pilotis selon la firme d'architectes qui a pris en charge le dossier. D'autant plus que les tuyaux d'alimentation en eau courante sont constamment fissurés, leur route principale est inondée chaque année, rendant l'accessibilité à ce village très difficile. Parfois, les fondations des bâtiments sont déstabilisées, menaçant les infrastructures au sol. Le malheur qui s'abat sur Newtok ne semble pas lui être réservé, puisque plusieurs communautés vivant à des latitudes élevées sont aux prises avec ces mêmes problématiques. Les infrastructures endommagées partagent une caractéristique particulièrement importante qui permet d'élucider le phénomène : elles sont construites dans des régions de pergélisol. Ce type de sol se caractérise par son contenu en eau qui est glacé de façon pratiquement permanente. Face à la hausse constante de la température, cet état de permanence semble maintenant révolu. Le pergélisol fond et les conséquences ne font que s'accumuler. L'intégrité du pergélisol dépend directement de sa température ; elle doit absolument demeurer sous le point de congélation. Ce n'est pas un secret pour personne, le réchauffement des régions de haute latitude a pour conséquence de faire fondre le pergélisol et ainsi causer des dégâts socio-économiques d'envie dans les communautés du Nord.

Portrait global du pergélisol

Dr Alex Matveev, professeur à l'Université de Concordia et expert en géographie environnementale, estime que le pergélisol du Canada est congelé depuis plusieurs dizaines de milliers d'années. De plus, le pergélisol occupe une superficie fort considérable à l'échelle mondiale. Il est d'environ 18 millions de km², ce qui équivaut à environ deux fois la superficie du Canada ! À titre d'indication, les régions bordées de pergélisol représentent environ 11% de la surface mondiale.

De plus, le Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (GIEC) rapporte que la température augmente plus rapidement dans les régions où se trouve le pergélisol, c'est-à-dire dans les régions les plus au nord du globe. L'augmentation dans ces régions se produit 2,5 fois plus rapidement que sur l'ensemble de la Terre. Cependant, l'expert Alex Matveev relate que le réchauffement peut se faire jusqu'à cinq fois plus rapidement dans certaines régions !

Route affectée par la fonte du pergélisol dans l'Arctique canadien



Zones

■ Continues ■ Discontinues ■ Sporadiques ■ Isolées

Localisation du pergélisol

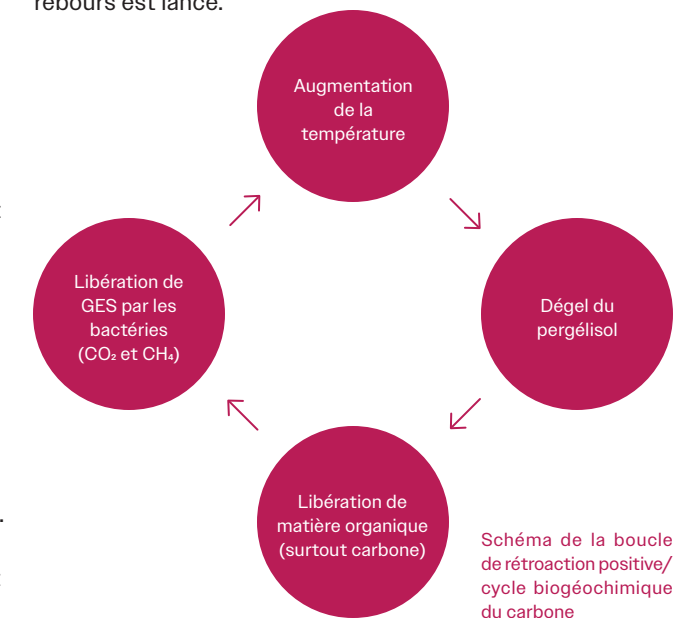
Le bilan du carbone

Certains gaz, dont le dioxyde de carbone (CO₂) et le méthane (CH₄), sont présents naturellement dans l'atmosphère. Ils retiennent de la chaleur à la surface de la Terre par la capture d'une partie du rayonnement solaire. Ils sont appelés gaz à effet de serre (GES) et sont nécessaires au maintien du climat. Le niveau atmosphérique dépend de l'équilibre entre les GES émis et ceux absorbés par les écosystèmes. Par exemple, la respiration des êtres vivants émet des GES : on l'appelle une source. À l'opposé, la photosynthèse par les végétaux absorbe les GES : on parle alors d'un puit.

Lorsque l'équilibre est perturbé par une libération excessive de GES, comme dans le cas de la combustion massive de combustibles fossiles, l'effet de serre est amplifié de façon exponentielle. Résultat : la température augmente et cause la fonte lente du pergélisol. On pourrait supposer qu'en diminuant les GES que nous émettons, le problème finirait par se résorber. Il semblerait que la solution ne soit pas si simple. Nous savons maintenant que le pergélisol est une boîte de Pandore qui, une fois ouverte, ne se referme pas aussi facilement.

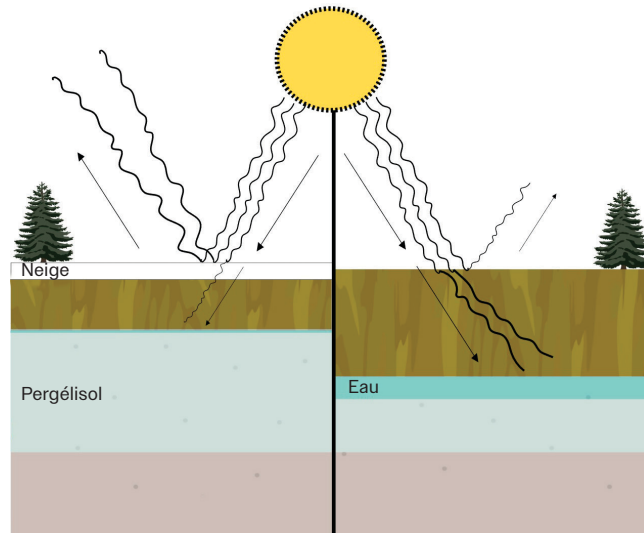
Depuis que le climat sur Terre a permis sa formation, le pergélisol agit principalement comme un puit. Il a d'ailleurs joué un rôle important dans la réduction de la concentration atmosphérique de CO₂ à un niveau permettant la vie, telle que nous la connaissons depuis les débuts de notre espèce. Maintenant que le pergélisol fond progressivement, son rôle s'inverse : peu à peu, le puit se vide, libérant les GES qu'il avait emprisonnés longtemps auparavant. Cette transition amorce

un cycle vicieux : augmentation des GES dans l'atmosphère, hausse de la température, amplification de la fonte du pergélisol, libération plus importante de GES emprisonnés... Une fois enclenché, le cycle se nourrit lui-même : c'est une boucle de rétroaction positive. La fonte du pergélisol, initialement une conséquence des changements climatiques, en devient progressivement une cause majeure. Un parfait exemple de la précarité de ces écosystèmes que nous tenons souvent pour acquis. La bombe à retardement est amorcée ; le compte à rebours est lancé.

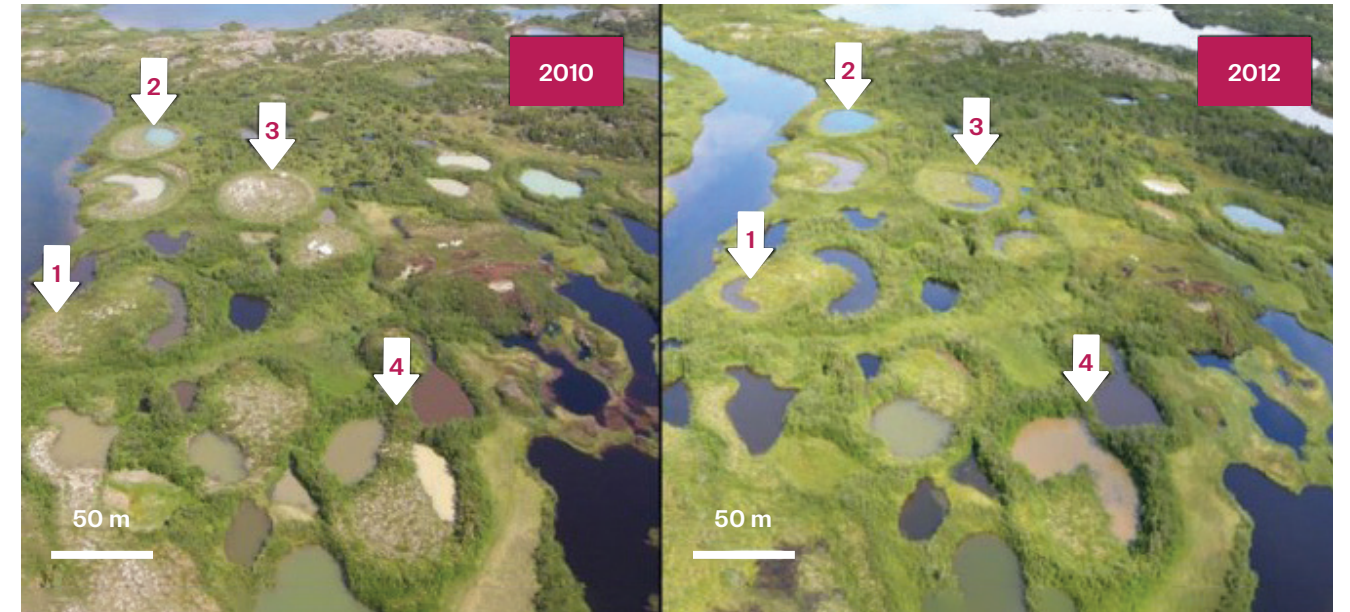


L'effet albédo

Lorsque les rayons lumineux du soleil atteignent la surface terrestre, certains sont absorbés et d'autres sont réfléchis. La portion de la lumière réfléchi, appelée albédo, varie selon le type de sol. Par exemple, un sol enneigé en réfléchit énormément tandis qu'un sol de terre très peu. Tel que mentionné précédemment, la boucle de rétroaction positive engendre la fonte des neiges dans les régions de l'Arctique. Conséquences : les rayons du soleil sont désormais majoritairement absorbés par un sol à découvert, plutôt que réfléchis par la neige. Cette diminution de l'effet de l'albédo a pour effet d'accélérer la dégradation du pergélisol. Docteur Matveev mentionne une conséquence supplémentaire de la fonte de la couverture de neige de l'Arctique : l'eau qui en résulte s'infiltre dans le sol jusqu'à atteindre le pergélisol et contribue à accélérer sa fonte !



Comparaison entre un effet d'albédo élevé (à gauche) et faible (à droite)



Changements morphologiques causés par le processus de thermokarst

Comment les gaz sont-ils formés ?

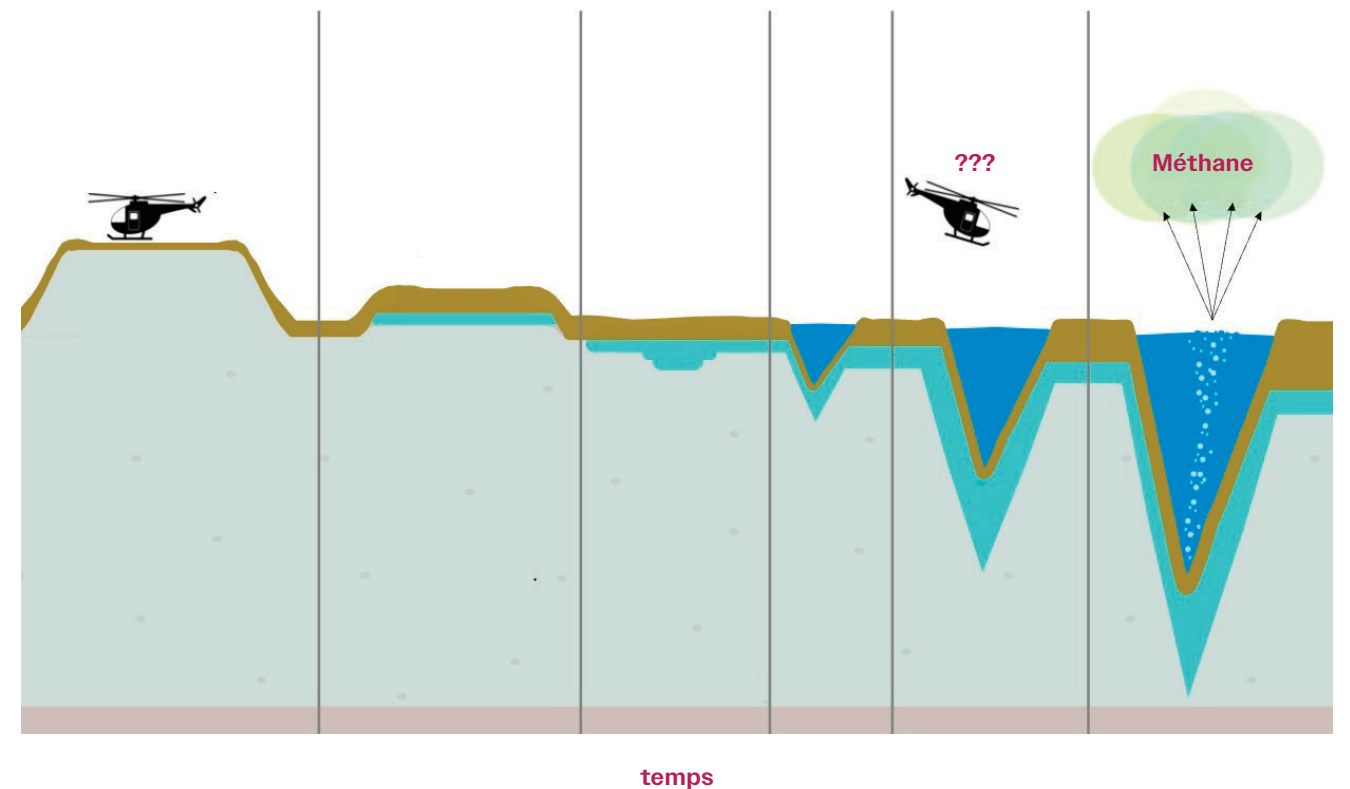
Pour bien comprendre le rôle du pergélisol dans la capture et l'émission de GES, il faut s'attarder à ses deux composantes les plus importantes : la glace et la matière organique. La matière organique, issue d'organismes vivants, est normalement dégradée par des microbes afin de leur procurer le précieux carbone qu'elle contient, essentiel à leur survie. Une partie de ce carbone est libérée sous forme gazeuse lors de leur respiration, soit en dioxyde de carbone (CO_2) ou en méthane (CH_4), dépendamment de la présence ou non d'oxygène et du type de bactérie. Dans les régions de pergélisol, la matière organique et son carbone sont emprisonnés dans la glace, empêchant la dégradation par les microbes et leur production de gaz. Les experts estiment que le pergélisol contient présentement entre 1100 et 1150 milliards de tonnes de carbone. Pour mettre en perspective, c'est une quantité équivalente à trois fois celle contenue dans les forêts mondiales et le double du contenu atmosphérique actuel.

Une étude suggère que les milieux humides de l'Arctique sont la plus grande source naturelle de méthane, responsable d'environ 25 % des émissions mondiales totales ! Dans les lacs formés par la fonte du pergélisol, on peut observer un phénomène intrigant où l'eau semble bouillir. Les bulles remontant à la surface sont en fait très concentrées en méthane. Selon le spécialiste en limnologie Dr. David Bastviken, la contribution totale de ces lacs est estimée entre 6 % et 16 % des émissions naturelles de méthane. Les émissions de carbone provenant du pergélisol ne sont donc pas à prendre à la légère !

Mais quels sont ces lacs rejetant d'immense quantité de GES ?

Dr Matveev et son équipe racontent une expérience marquante vécue lors d'un de leur récent voyage dans le Nord canadien. En l'espace de deux années seulement, la colline où ils établissaient leur camp de base s'est transformée en lac ! Comment se fait-il que d'aussi vastes superficies terrestres se transforment aussi rapidement en espaces aquatiques ? En fait, la fonte de la glace contenue dans le pergélisol génère un dégonflement de la couche qui était précédemment glacée, ce qui engendre l'érosion du terrain et la formation d'une dépression dans un processus appelé thermokarst. Le phénomène dépend directement de la température. C'est pourquoi il est particulièrement sensible aux changements climatiques.

Deux scénarios sont possibles pour la formation de ces mares. D'abord, les collines de tourbe et de glace s'effondrent suite à la fonte de la glace, ce qui donne lieu à une dépression. Le sol sous ces mares demeure non gelé en permanence, ce qui permet l'accumulation de précipitations. Au fil des accumulations, des petites étendues d'eau se forment peu à peu. La deuxième possibilité se produit lorsque des cycles de gel et dégel s'enchaînent sur la couche de sol au-dessus du pergélisol. Le processus génère des contractions thermiques lors du gel et des crevasses qui se remplissent d'eau au dégel. Les fissures s'agrandissent de plus en plus, et forment éventuellement de petits lacs.



Transformation d'une colline en lac

Passer d'un écosystème à un autre

Une partie des conséquences du dégel du pergélisol n'est pas directement liée à la libération de GES et à l'augmentation de la température. Quand le pergélisol disparaît, les écosystèmes qui en dépendent sont mis à rude épreuve ! Ces écosystèmes regroupent des êtres vivants, tels que des animaux, des végétaux, des champignons et des bactéries qui interagissent avec leur environnement, incluant la météo, les nutriments à proximité, l'humidité du sol, etc.

Des eaux de plus en plus turbides

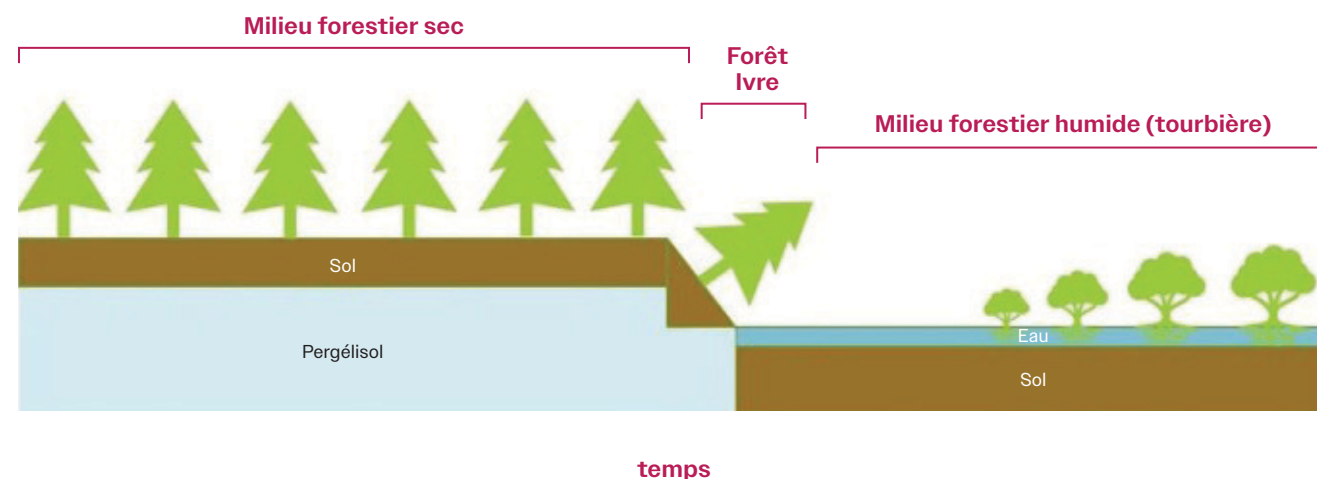
La fonte du pergélisol affecte également les cours d'eaux qui s'y trouvent en périphérie. Ces lacs et rivières subissent un brunissement des eaux causé par le ruissellement de la matière organique libérée par le pergélisol. En conséquence, les milieux aquatiques deviennent plus sombres et la visibilité dans l'eau diminue drastiquement. Dans les milieux aquatiques affectés, la concentration en matière organique va même jusqu'à tripler ! Cette augmentation inattendue de carbone n'est pas sans conséquence pour la faune et la flore. Les algues situées au fond de l'eau (les algues benthiques) ne reçoivent plus assez de lumière pour effectuer la photosynthèse (production d'oxygène à partir de CO₂) et survivre. La santé des algues et des plantes aquatiques, à la base de la chaîne alimentaire des lacs et rivières, se fragilise. L'entière des espèces aquatiques s'en retrouvent affectée. La perturbation de la clarté de l'eau met un autre bâton dans les roues aux animaux aquatiques : la quête de nourriture et de partenaires sexuels est désormais un plus grand défi.

La faune et la flore n'y échapperont pas !

Les conséquences s'enchaînent également au niveau terrestre : la physiologie de la forêt change rapidement suite à la fonte du pergélisol. Des zones forestières autrefois sèches deviennent humides et se transforment parfois même en tourbières. Les propriétés du sol (humidité, disponibilité en nutriments, acidité, ...) changent, modifiant grandement l'habitat, les ressources et les interactions entre les espèces animales et végétales de la forêt. De ce fait, la composition en espèces change ; les espèces tolérantes aux milieux humides survivent aux dépens des autres. Beaucoup d'espèces disparaissent, dégradant l'écosystème terrestre et causant une perte de biodiversité. Pourquoi est-il alors si important de maintenir la biodiversité ? Il existe deux façons de répondre à cette question. D'abord, une grande biodiversité permet à la forêt d'être résiliente, c'est-à-dire de faire face à des perturbations naturelles ou anthropiques, telles qu'une inondation, une coupe forestière ou encore une maladie qui s'abat sur les populations. La fonte du pergélisol est évidemment ici le bouleversement à considérer. De surcroît, la forte biodiversité permet à la nature de rendre de nombreux services qui contribuent au bien-être de tous les organismes vivants : on parle alors de services écosystémiques. Par exemple, l'écosystème fournit de l'oxygène, de la nourriture, des médicaments, de la matière première et beaucoup d'autres services. Dans le cas du pergélisol, sa dégradation constitue une importante entrave au maintien de la biodiversité !



Forêts Ivres



Transformation d'un milieu forestier sec à humide suite à la fonte du pergélisol

Disparition d'une banque d'innovations

Outre son rôle dans le maintien de l'environnement, le pergélisol possède aussi un rôle crucial pour l'humain. Dr Tatiana Vishnivetskaya, spécialiste en microbiologie du pergélisol, le décrit comme une « banque de microbes ». Une banque qui contient, entre autres, des microorganismes jusqu'à maintenant inconnus, qui pourraient avoir un impact positif sur la vie de tous. Souvent, on oublie le potentiel incroyable de ces microbes à améliorer notre quotidien. C'est pourtant ce qui est recherché dans le domaine de la biotechnologie : appliquer les innovations du monde vivant à des fins technologiques. C'est de ces recherches que nous viennent de nombreuses innovations utilisées dans une multitude de domaines, tels que l'alimentation, la médecine, l'agriculture et même l'entretien ménager. Un produit aussi commun que le détergent à lessive met à profit des protéines spécialisées qui dégradent efficacement les graisses et qui sont produites par des bactéries. D'ailleurs, c'est l'étude de bactéries adaptées aux milieux froids, produisant une protéine similaire, mais fonctionnant à basse température, qui a permis de développer du détergent à lessive qui fonctionne... à l'eau froide ! Les microbes du pergélisol, eux-mêmes résistants au froid ou conservés dans la glace, sont donc potentiellement une source précieuse d'innovations biotechnologiques qui sont vouées à disparaître avec le pergélisol.

Les « Forêts Ivres »

Le dégel du pergélisol crée des sols bossus et inégaux qui donnent naissance à un phénomène assez loufoque : les « Forêts Ivres ». Ces sols déplacent les arbres dans tous les sens, rendant le déplacement des animaux difficile ! Il est à noter que pour les espèces utilisant les arbres et racines comme domicile, la formation de « Forêts Ivres » est loin d'être un avantage pour tous !

La menace de virus anciens

Bien que les conséquences de la fonte du pergélisol décrites jusqu'à maintenant soient mesurables et déjà observables, d'autres demeurent hypothétiques. Parmi celles-ci, l'une semble toutefois sortir tout droit d'une œuvre de science-fiction : la libération de microbes anciens et dangereux pour l'humanité. Le synopsis est simple : des randonneurs bravant le froid décident de s'arrêter pour dîner sur ce qu'ils ignorent être un cimetière ancien. Les corps enterrés, maintenant décongelés, ont libéré dans le sol le virus ayant causé leur décès. À leur insu, les randonneurs sont infectés et répandent inconsciemment un virus inconnu auquel l'humanité n'est pas préparée. Le scénario est inquiétant. Pourrions-nous être confrontés à une épidémie causée par la fonte du pergélisol ?

Pour répondre à cette question, il faut s'intéresser à ce qui est nécessaire pour qu'une telle situation arrive. Tout d'abord, le microbe doit être intact après sa décongélation. Puis, il doit trouver un hôte approprié, déjouer son système immunitaire et finalement, résister aux interventions médicales. Malheureusement pour ces hypothétiques microbes dangereux, leur simple survie lors de leur décongélation représente déjà un défi de taille. Ceux qui y arriveraient auraient besoin de trouver un hôte le plus rapidement possible, puisque l'environnement externe est hostile à leur survie. Dès que quelques cas seraient déclarés, seul un microbe résistant aux médicaments déjà disponibles, comme les antibiotiques, aurait une chance de causer un événement de plus grande envergure. Bien que la communauté scientifique n'ait pas établi un consensus définitif sur le sujet, ce super virus s'apparente plus au scénario d'un film catastrophe qu'à une menace réelle pour l'humanité... pour le moment !

Anthrax

Sibérie, 2016

Une vague de chaleur et des précipitations importantes frappent une région de pergélisol. Dans le sol, congelée depuis plus de 75 ans, une carcasse de renne dégèle. Dans celle-ci, une menace se cache, endormie, attendant son heure... et avec le dégel, ce moment est arrivé !

Cette menace ? *Bacillus anthracis*, la bactérie causant la maladie de l'anthrax. Il n'a suffi que d'une carcasse pour provoquer une épidémie causant la mort de plus de 2000 rennes et d'une personne. Face à un tel événement, il est peu surprenant que plusieurs s'inquiètent des dangers anciens qui peuvent se tapir dans les glaces du pergélisol et causer des problèmes beaucoup plus importants. Après tout, cette bactérie n'est pas la seule à posséder la capacité de rester en dormance sous une forme très résistante, appelée spore. Bien que les risques humains à grande échelle soient peu probables, il demeure tout de même important de prendre en compte les changements de température comme facteur pouvant avoir un impact épidémiologique, en particulier chez les animaux et les végétaux.

Conclusion : Cause perdue ?

Accélération des changements climatiques, perturbation des écosystèmes et dommages aux infrastructures. Ce ne sont que quelques-unes des conséquences majeures de la fonte du pergélisol. La disparition progressive d'un type de sol, qui peut sembler à première vue insignifiante, aura des répercussions catastrophiques sur les régions septentrionales et sur l'ensemble des habitants de la Terre. Le processus est commencé. Le cycle est enclenché. L'indifférence n'est plus une option. Le problème requiert un effort collectif, imminent et décisif, sans quoi nous ne laisserons, aux générations suivantes, que l'ombre de la planète que nous connaissons. Disons... une mare d'eau où se tenait auparavant un magnifique château de glace !

Experts interviewés

Alex Matveev

Spécialiste en limnologie et géographie environnementale. Professeur au département de géographie à l'université Concordia et agent de recherche pour le Industrial Research Chair in Carbon Biogeochemistry in Boreal Aquatic systems (CarBBAS Chair) à l'Université du Québec à Montréal. Il est titulaire d'une maîtrise en géographie et environnement et d'un doctorat sur la dynamique microbienne des systèmes thermokarstiques.

Tatiana Vishnivetskaya

Professeur et assistante de recherche au Centre de biotechnologie environnementale de l'Université du Tennessee, Knoxville. Mme Vishnivetskaya est titulaire d'un doctorat en biochimie et d'une maîtrise en biologie avec une spécialisation en microbiologie. Ses recherches portent sur la découverte de la biodiversité microbienne et des fonctions métaboliques dans des environnements extrêmes, notamment les sédiments de subsurface profonds gelés en permanence et les sources chaudes. Elle cherche à comprendre comment les communautés microbiennes évoluent au cours des changements environnementaux.



Par Hiba Benlyamani,
Pierre Betti, Rayene
Djaou, et Amanda Zen

Le cannabis thérapeutique : mythes et réalités



L'univers du cannabis est fascinant avec ses feuilles vertes et ses fleurs vibrantes. Cependant, derrière cette apparence attrayante se cache une histoire complexe qui suscite des débats passionnés sur son utilisation médicale. Certains voient le cannabis comme un remède à de nombreux maux, tandis que d'autres le considèrent comme une drogue dangereuse/néfastes pour la santé. Mais comment agit-il dans l'organisme humain ? Que disent les recherches scientifiques sur le cannabis médical ? Et pourquoi la controverse persiste-t-elle malgré les efforts pour légaliser cette plante ?



Une plante qui soulève de nombreuses questions

Le cannabis thérapeutique est un sujet d'actualité qui suscite un grand intérêt dans le domaine médical et scientifique. Le cannabis est souvent utilisé pour soulager de nombreux symptômes, et la légalisation du cannabis médical se répand de plus en plus à travers le monde. L'Office des Nations Unies contre la drogue et le crime (ONUDC) a indiqué que de plus en plus de pays légalisent, ou dépénalisent, l'utilisation du cannabis à des fins médicales. En 2020, plus de 50 pays ont mis en place des programmes de cannabis médical à travers le monde entier.

L'utilisation du cannabis thérapeutique demeure un sujet controversé, suscitant des débats animés sur ses avantages et ses inconvénients potentiels. Bien que certains s'opposent à la légalisation du cannabis thérapeutique en raison de ses risques présumés pour la société, cette opposition est souvent influencée par la stigmatisation de l'utilisation récréative de la substance, qui est couramment associée à ses effets psychotropes. Afin de mieux comprendre les implications de l'utilisation thérapeutique du cannabis, il est impératif de bien appréhender les bénéfices et les limites de l'usage thérapeutique de cette substance.

Le cannabis est une plante angiosperme de la famille des *cannabaceae*, également connue sous le nom de *chanvre*.

Des pharaons aux hippies : Voyage dans l'histoire tumultueuse du cannabis

D'où vient le cannabis ?

L'histoire du cannabis remonte à l'Asie centrale, où il était utilisé à des fins médicales et récréatives. Le cannabis a voyagé loin de son berceau en Asie centrale pour conquérir l'Amérique. En Égypte, il y a de cela 4000 ans, il a trouvé une place de choix en tant que plante médicinale. Les Égyptiens, connus pour leur expertise en médecine, ont rapidement compris les vertus de cette plante mystérieuse et l'ont intégrée dans leur pharmacopée. Les Égyptiens utilisaient le cannabis pour soulager divers troubles, notamment la maladie hémorroïdaire ou encore les difficultés lors de l'accouchement. L'utilisation thérapeutique du cannabis est aussi mentionnée dans les sociétés hindoues, assyriennes, grecques et romaines.



Comment une plante millénaire est-elle devenue l'ennemi public numéro un ?

Au fil du temps, le cannabis est devenu populaire dans d'autres cultures, mais sa consommation a également été associée à des effets négatifs sur la santé mentale. Certains ont décrit cette plante comme une drogue très addictive, qui peut provoquer des troubles mentaux et de la violence chez certains consommateurs. La stigmatisation entourant le cannabis remonte à la fin de la période de prohibition aux États-Unis en 1930, lorsque le Bureau des narcotiques et des drogues dangereuses (DEA) a lancé des campagnes de dénigrement pour pénaliser les minorités ethniques en propageant des rumeurs alarmistes sur les dangers de cette nouvelle drogue. Dans les années 1960, un intérêt public pour déstigmatiser l'utilisation de substances psychoactives a commencé à émerger, mais les campagnes de la guerre contre les drogues menées par le président Richard Nixon dans les années 1970 ont rapidement refait surface et ont entravé tous ces efforts.

Nixon a également révélé que le cannabis était nettement plus nocif que l'alcool, car les personnes fumaient du cannabis pour se mettre en état d'euphorie plutôt que pour le plaisir, une distinction importante entre les deux substances selon lui. Nixon soutenait au même titre l'existence d'un lien sinistre entre cette drogue, l'homosexualité, le communisme et de divers groupes ethniques. La loi sur les substances contrôlées (CSA) signée en 1970, est devenue l'un des principaux obstacles à l'avancement de la recherche sur les cannabinoïdes à des fins médicales en raison de la réglementation accrue. Suite à cela, la plante a été criminalisée dans de nombreux pays, y compris le Canada.

Saïd Kourrich, professeur au département des sciences biologiques de l'UQÀM et titulaire de la Chaire de recherche en neurobiologie de la santé mentale, nous informe que les campagnes menées à cette époque ont conduit à la criminalisation du cannabis et à son inscription dans la liste des substances interdites, au même rang que l'héroïne. Ceci a façonné une croyance au sein du grand public que la consommation de marijuana était aussi dramatique que celle de l'héroïne. Ces campagnes intensives ont donc laissé une image négative de la plante qui persiste encore de nos jours.

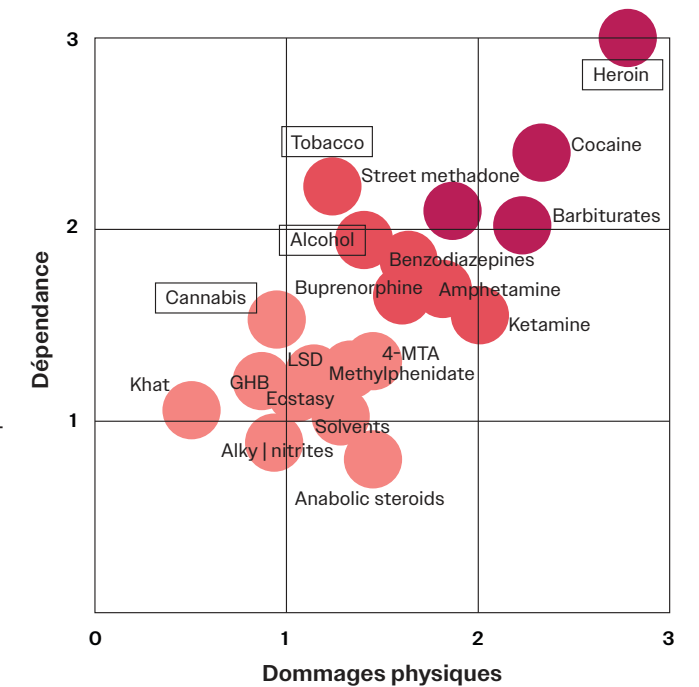


Alors, quels sont les risques réels associés à la consommation de cannabis ?

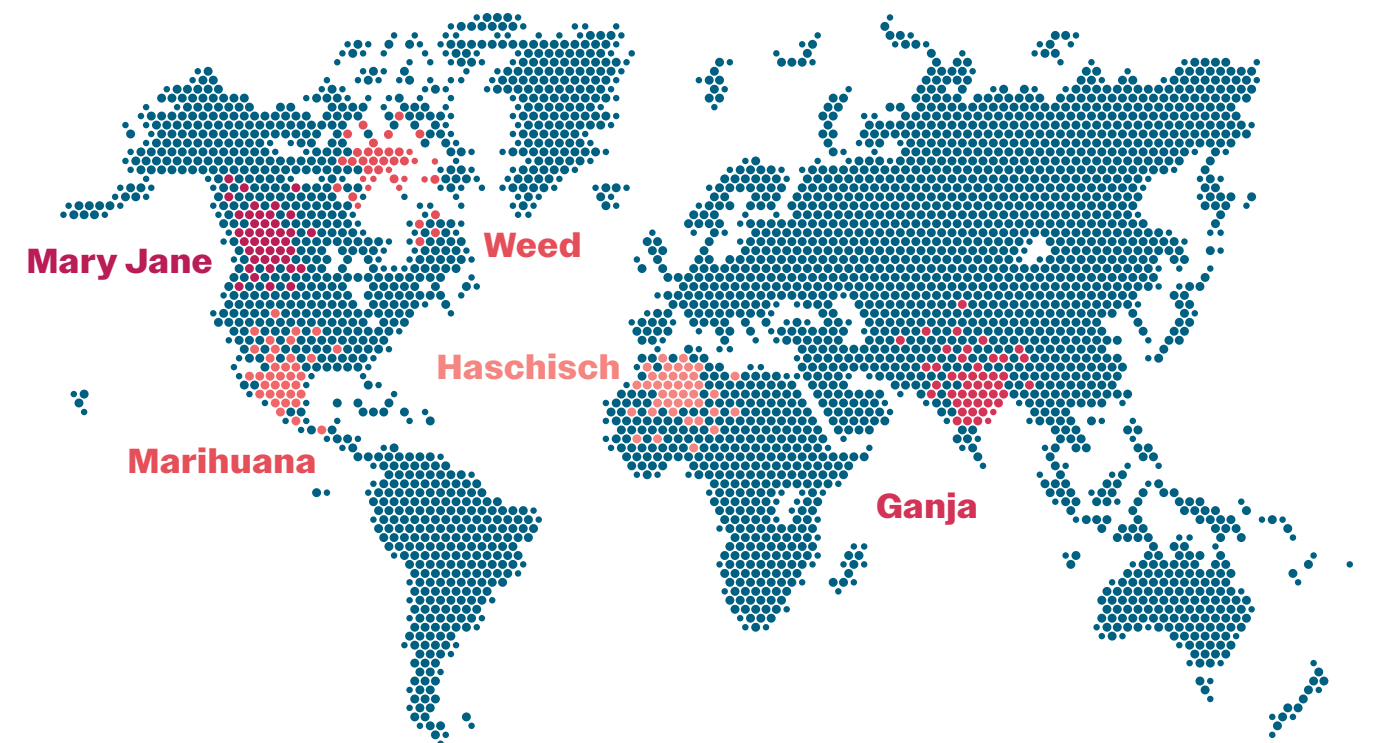
Le cannabis a été reconnu comme ayant un faible potentiel d'addiction par rapport à d'autres substances. Pourtant, l'acceptation du cannabis est paradoxale : l'alcool et le tabac, qui sont plus nocifs, sont largement acceptés autour du globe.

Selon le professeur Saïd Kourrich, pour subir une overdose de THC, il faudrait que le corps humain absorbe rapidement une quantité de cette substance équivalente à celle qui se trouve dans pas moins de 2000 joints. Par ailleurs, aucune réaction indésirable n'a été observée dans le cadre d'une utilisation thérapeutique à doses appropriées.

Toutefois, la demande croissante des consommateurs récréatifs pour des variétés de cannabis riches en THC a conduit à une homogénéisation de la production vers des variétés à forte teneur en THC. Alors qu'en 1990, les concentrations en THC étaient souvent inférieures à 5 %, aujourd'hui, les produits disponibles sur le marché peuvent contenir des niveaux de THC dépassant les 25 %. Selon Mohammad-Ali Jenabian, professeur au département des sciences biologiques de l'UQÀM et titulaire de la Chaire de recherche du Canada en immunovirologie, cette situation complique l'évaluation des risques associés à la consommation de cannabis.



L'histoire du cannabis est fascinante. Cette plante est connue sous de nombreux noms à travers le monde, reflétant ainsi les différentes langues et cultures. Mais elle est également désignée de différentes manières en fonction de son apparence physique, de sa méthode de consommation ou encore de ses effets. Et pourtant, derrière ces appellations se cachent des histoires surprenantes. Par exemple, le terme « marijuana » vient du Mexique et signifie « herbe qui provoque l'ivresse ». Mais les noms ne s'arrêtent pas là. Le cannabis a de nombreux autres noms en français et dans d'autres langues. En anglais, il existe même plus de 1200 termes de jargon pour le désigner.



Mode d'action des cannabinoïdes

Comment les cannabinoïdes opèrent-ils dans le système endocannabinoïde ?

Mais au-delà de ces appellations, il existe également une grande diversité de variétés de cannabis. Certaines d'entre elles sont des hybrides créés par des cultivateurs pour obtenir des effets particuliers. Aujourd'hui, il existe plus de 700 variétés de cannabis, chacune ayant son propre nom et sa propre histoire. Le cannabis est donc bien plus qu'une simple plante, c'est un univers de noms et d'histoires.

La **souche Sativa**, également connue sous le nom de Chanvre cultivé et de *Cannabis sativa*, son nom scientifique, est originaire des régions tropicales et subtropicales. Elle est souvent associée à des effets énergisants et stimulants, ainsi qu'à des saveurs fruitées et florales.



La **souche Indica**, également connue sous le nom de Chanvre indien et de *Cannabis indica*, son nom scientifique, est quant à elle originaire des montagnes de l'Hindu Kush en Asie centrale. Elle est souvent associée des effets relaxants et sédatifs, ainsi qu'à des saveurs terreuses et épicées.



Les endocannabinoïdes, également connus sous le nom de cannabinoïdes endogènes, sont des neurotransmetteurs lipidiques naturels. Le corps produit des endocannabinoïdes pour réguler de nombreuses fonctions physiologiques, telles que la douleur, l'humeur, l'appétit, le sommeil et le système immunitaire. Les endocannabinoïdes agissent en se liant aux récepteurs cannabinoïdes de type 1 ou 2 (CB1 ou CB2). Le récepteur CB1 est principalement présent dans le cerveau (hippocampe, cortex cérébral, ganglions de la base, cervelet et hypothalamus) et le système nerveux central. Le récepteur CB1 est responsable des effets psychoactifs des cannabinoïdes. Le récepteur CB2 est, quant à lui, principalement présent dans le système immunitaire et est impliqué dans la régulation de l'inflammation et de la réponse immunitaire. L'interaction des endocannabinoïdes comme l'anandamide, avec les récepteurs répartis dans tout l'organisme, contribue à la régulation des neurotransmetteurs et des récepteurs, pouvant influencer la cognition, la motivation et la récompense et permettre le maintien de l'homéostasie.

Les cannabinoïdes extraits de la plante de cannabis sont appelés phytocannabinoïdes. Ces derniers agissent de la même façon que les endocannabinoïdes produits par le corps. Deux des composants les plus connus et les plus étudiés présents dans la plante de cannabis sont le delta-9-tétrahydrocannabinol (THC) et le cannabidiol (CBD). Ces derniers diffèrent néanmoins en termes d'actions physiologiques et d'applications thérapeutiques.

Le cannabis : une nouvelle voie thérapeutique à venir ?

La cible de la thérapie au cannabis est le système endocannabinoïde. La thérapie à base de cannabis peut cibler à la fois les récepteurs CB1 et CB2, les enzymes engagées dans cette voie de signalisation, mais également les différents cannabinoïdes impliqués dans la fonction de l'effet thérapeutique recherché. Toutefois, au Canada, la controverse entourant l'utilisation du cannabis rend l'approbation de la recherche difficile. La procédure d'obtention des licences et des autorisations pour mener des essais cliniques impliquant le cannabis est une entreprise complexe et longue.



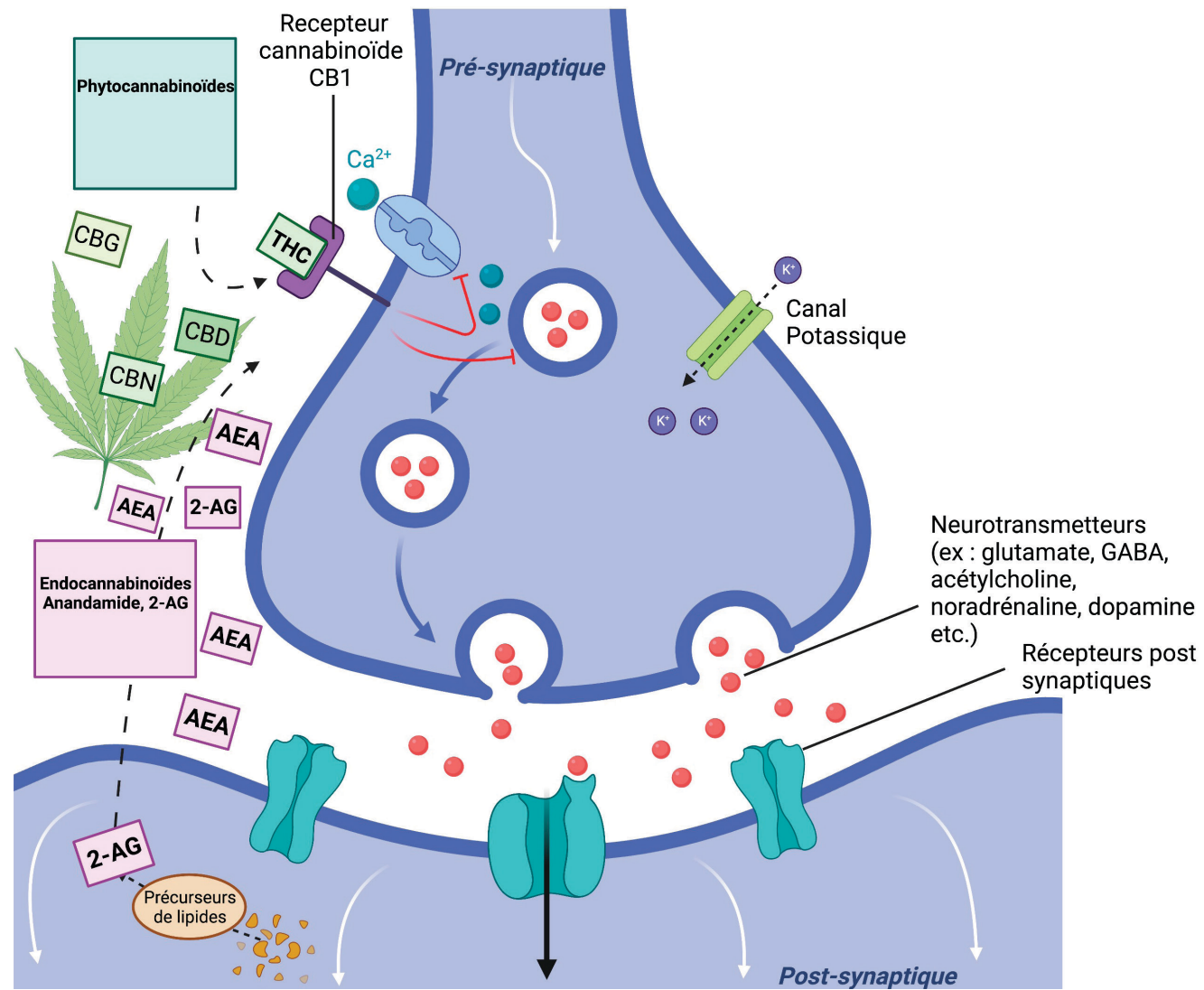
Une vue d'ensemble : l'action des phytocannabinoïdes sur le système endocannabinoïde

Le THC empêche la liaison des endocannabinoïdes naturels, tels que l'anandamide et le 2-arachidonoylglycérol (2-AG), en se liant aux CB1 et aux CB2. Ceci provoque une réduction de la sécrétion/libération de neurotransmetteurs et peut conduire à des effets psychoactifs, tels que la sensation d'euphorie, de relaxation et la modification de la perception.

Par exemple, le THC a un impact direct sur les neurones producteurs de dopamine. Ces derniers sont habituellement contrôlés par les neurotransmetteurs glutamate et GABA. Lorsque le THC est consommé, il stimule les neurones producteurs de dopamine en bloquant l'action inhibitrice du GABA et en augmentant l'excitation neuronale due à la libération accrue de glutamate.

Le CBD, quant à lui, agit en inhibant la dégradation des endocannabinoïdes ou encore en modulant de façon indirecte l'activité des neurotransmetteurs et des récepteurs CB1 et CB2. Il peut également réguler d'autres récepteurs tels que les récepteurs sérotoninergiques qui participent à l'inflammation, la douleur et l'anxiété. D'autres cannabinoïdes dont le cannabigérol (CBG) et le cannabinol (CBN) agissent tout autant sur les récepteurs CB1 et CB2. Ils sont respectivement utilisés comme analgésique pour les douleurs chroniques, et comme sédatif pour les troubles du sommeil.

Les phytocannabinoïdes présents dans le cannabis peuvent activer les récepteurs cannabinoïdes présents dans le tube digestif en cas de maladie de Crohn. Le CBD permet de réduire l'activité inflammatoire en activant les récepteurs CB2 dans les cellules immunitaires et dans le tube gastro-intestinal. L'effet du THC va soulager les douleurs abdominales des patients et réduire la diarrhée en agissant sur les récepteurs CB1 de plusieurs régions ; cerveau, moelle épinière et fibres nerveuses périphériques conductrices de la douleur.



Lorsque les endocannabinoïdes ou les cannabinoïdes exogènes se lient aux CB1 présents sur les neurones, cela déclenche la voie inhibitrice, limitant la libération de neurotransmetteurs tels que le glutamate. Dans le cas du glutamate, un neurotransmetteur impliqué dans la transmission de la douleur et de l'anxiété, son inhibition peut avoir des effets calmants et analgésiques sur le corps.

Vertus thérapeutiques des cannabinoïdes et leurs effets indésirables

THC
Tétrahydrocannabinol

Psychoactif

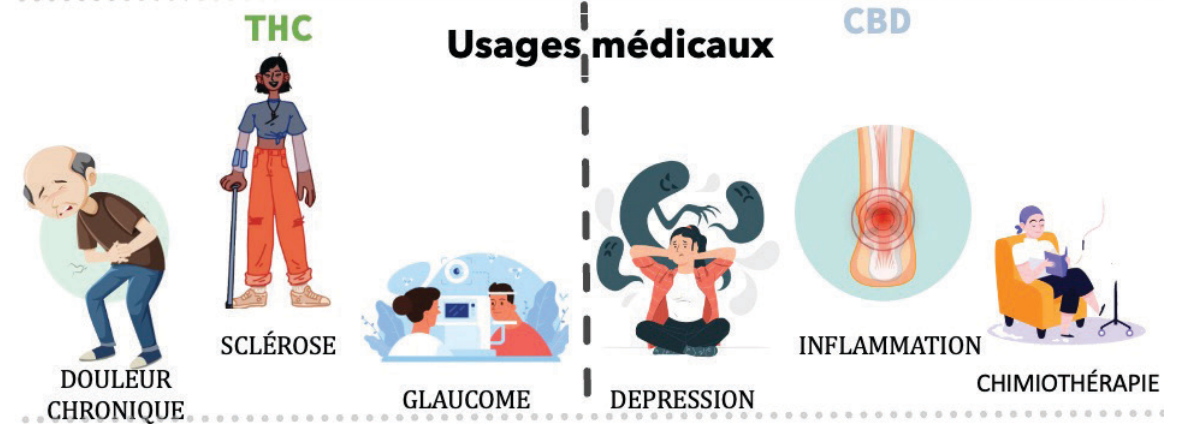
CBD
Cannabidiol

Non psychoactif

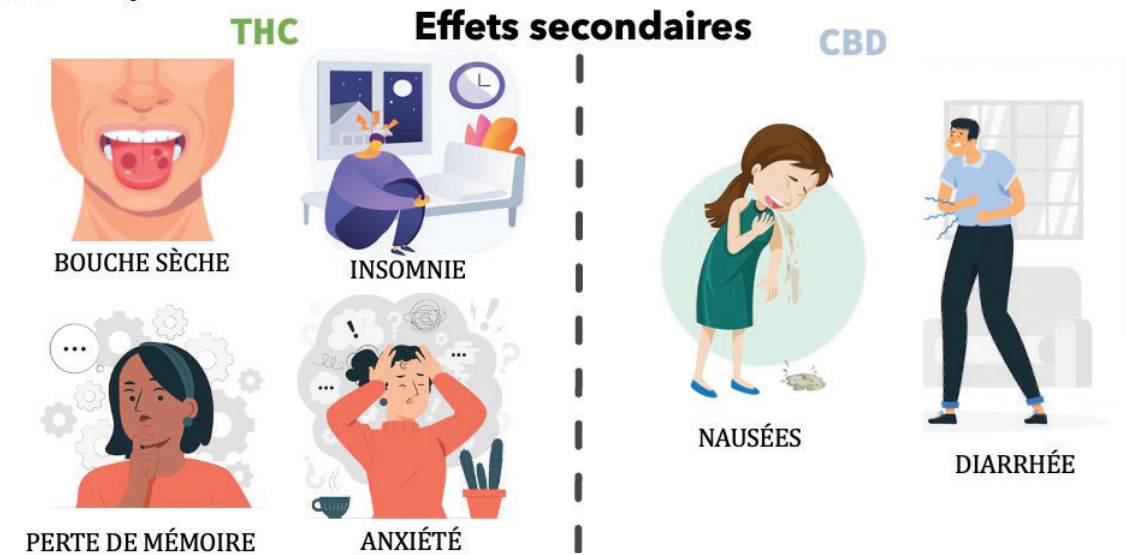
Principales formes d'administration (THC&CBD)



Usages médicaux



Effets secondaires



Les phytocannabinoïdes présents dans le cannabis peuvent activer les récepteurs cannabinoïdes présents dans le tube digestif en cas de maladie de Crohn. Le CBD permet de réduire l'activité inflammatoire en activant les récepteurs CB2 dans les cellules immunitaires et dans le tube gastro-intestinal. L'effet du THC va soulager les douleurs abdominales des patients et réduire la diarrhée en agissant sur les récepteurs CB1 de plusieurs régions ; cerveau, moelle épinière et fibres nerveuses périphériques conductrices de la douleur.



Comment pouvons-nous avoir une consommation adéquate de cannabis médical ?

Comment les cannabinoïdes peuvent aider les personnes atteintes de VIH ? Le système endocannabinoïde présente deux aspects distincts, à savoir un aspect pro-inflammatoire et un aspect anti-inflammatoire. Lorsqu'une personne souffre d'une maladie chronique inflammatoire comme le virus de l'immunodéficience humaine (VIH), le système endocannabinoïde est affecté de manière à favoriser l'aspect pro-inflammatoire, ce qui peut entraîner des perturbations au niveau des systèmes digestif, hépatique et neuronal.

Le professeur Mohammad-Ali Jenabian mène des essais cliniques visant à utiliser les propriétés anti-inflammatoires du THC et du CBD administrés par voie orale pour limiter l'activation immunitaire des individus infectés par le VIH.

« L'objectif est de réduire les comorbidités résultant de cette inflammation chronique, telle que l'hépatite et le vieillissement accéléré. »

Les études préliminaires sont prometteuses. Des tests impliquant un bras combiné THC : CBD et une monothérapie au CBD montrent une réduction des cytokines pro-inflammatoires, notamment l'interféron gamma et le TNF alpha, qui sont toutes deux impliquées dans les comorbidités chez les individus infectés par le VIH. De plus, il souligne que le THC peut contrebalancer certains effets indésirables du CBD. Des tests sont en cours pour étudier la synergie optimale entre les deux composés, par l'usage de différentes doses, et pour mieux comprendre leur sécurité et leur tolérabilité.

Bien que les comportements de dépendance au cannabis soient peu fréquents, la consommation de THC peut stimuler le système dopaminergique, ce qui peut inciter les individus à en consommer davantage et ainsi créer une dépendance. Selon le professeur Saïd Kourrich, plusieurs facteurs peuvent influencer l'abus de cannabis, tels que la concentration de THC dans les produits à base de cannabis et la fréquence de consommation. L'âge du consommateur est également un facteur important, car avant l'âge de 25 ans, le cortex préfrontal, une région impliquée entre autres dans la prise de décision et les comportements sociaux, n'est pas encore mature et peut être affecté par la consommation de cannabis. Les antécédents familiaux doivent également être pris en compte, car la consommation de cannabis peut déclencher des épisodes psychotiques chez les personnes génétiquement prédisposées.

Les progrès et les défis du cannabis thérapeutique : où en sommes-nous ?

Naomie Parrot, infirmière gestionnaire sénior des services cliniques à Santé Cannabis, nous informe que plusieurs patients prennent du cannabis pour soulager les symptômes de douleurs chroniques, inflammatoires, neuropathiques, ainsi certains troubles de santé mentale. Toutefois, Mme. Parrot explique que le cannabis ne permet pas de guérir les maladies, mais plutôt de soulager les symptômes associés. Pour ce faire, « les patients sont tout d'abord évalués par l'équipe médicale. Ils sont ensuite informés et encadrés par les professionnels de la santé de Santé Cannabis, afin de bien comprendre comment le commander et comment suivre la titration progressive des dosages à l'aide de tableaux et d'outils pour faciliter la compréhension. » Les doses prescrites, soit en CBD et/ou THC, sont initialement très faibles pour prévenir les effets secondaires et sont généralement administrées sous forme d'huile à consommer par voie orale, pour permettre une durée d'effet prolongée. Les patients bénéficient d'un traitement personnalisé : la forme d'administration, la dose, la fréquence et le choix des composés du traitement sont ajustés en fonction des besoins individuels du patient. Les patients sont par la suite régulièrement suivis par leur médecin. Par conséquent, Naomie Parrot déconseille fortement l'automédication et souligne l'importance d'avoir une prescription médicale adaptée à l'état de santé du patient.

Le cannabis a la capacité de modifier divers processus physiologiques en agissant sur notre système endocannabinoïde. Il est de plus en plus utilisé en thérapie pour traiter des maladies chroniques telles que la douleur chronique, l'anxiété et les maladies inflammatoires. Le cannabis a donc le potentiel de soulager les patients et d'améliorer leur qualité de vie. Malgré les obstacles liés à la stigmatisation et aux préjugés persistants autour du cannabis en tant que drogue dangereuse, ainsi que les restrictions réglementaires entravant la recherche, les études sur les effets thérapeutiques du cannabis se multiplient et promettent des résultats encourageants.

Une technique prometteuse dans ce domaine est le génie génétique ! En utilisant des techniques de modification génétique, les chercheurs peuvent concevoir des variétés de cannabis à teneur élevée en certains composés spécifiques, tels que le CBD et le THC, tout en minimisant les niveaux d'autres composés moins désirables. Cela permet de mettre au point des produits à base de cannabis plus ciblés et efficaces pour traiter des affections spécifiques. Le génie génétique peut également être utilisé pour produire des cannabinoïdes synthétiques qui sont plus stables et plus prévisibles que les cannabinoïdes naturels, ce qui facilite leur utilisation dans la fabrication de médicaments.



Par Yasmine Djenih,
Gabrielle Harnois, Jaelle
Landry et Hiba Qchiqach

La fonderie *Horne,* est-ce un *scandale?*



Depuis quelques années, grâce à son titre de principal pollueur du Québec, le nom de la fonderie Horne est sur toutes les lèvres. Selon l'indice du ministère de l'Environnement du Québec, en 2021, Rouyn-Noranda, ville de la fonderie, était la ville avec la pire qualité de l'air. Les activités urbaines et celles de la fonderie relâchent une grande quantité de métaux lourds et de polluants sous forme gazeuse dans l'environnement. Ces polluants persistent dans l'environnement et perturbent les écosystèmes sur de grandes distances. Face à ces constatations, devrait-on fermer la fonderie ?

Rouyn-Noranda est une ville située dans la région de l'Abitibi-Témiscamingue au Québec. La ville est connue pour son histoire minière et possède un riche patrimoine culturel et artistique. Les rues sont bordées d'arbres et de fleurs en été, et les trottoirs sont animés par des terrasses, des restaurants et des boutiques locales. Toutefois, l'activité industrielle est visible depuis les quartiers environnants, avec le bruit des machines et l'odeur du cuivre fondu qui flotte dans l'air. La fonderie Horne est une grande fonderie de cuivre fondée en 1927 à Rouyn-Noranda pour répondre à la demande croissante en cuivre. Elle est devenue l'un des piliers de l'industrie minière de la région, employant environ 1 000 personnes. Cependant, l'usine produit des rejets atmosphériques contenant des substances nocives telles que de l'arsenic, de l'oxyde de soufre, des dioxines, des furanes et des métaux lourds comme le plomb, le cadmium et le zinc depuis les années 1970. Nous verrons comment les émissions de la fonderie impactent nos écosystèmes, la santé humaine et nous donnerons des solutions afin d'assainir la situation.

La fonderie Horne

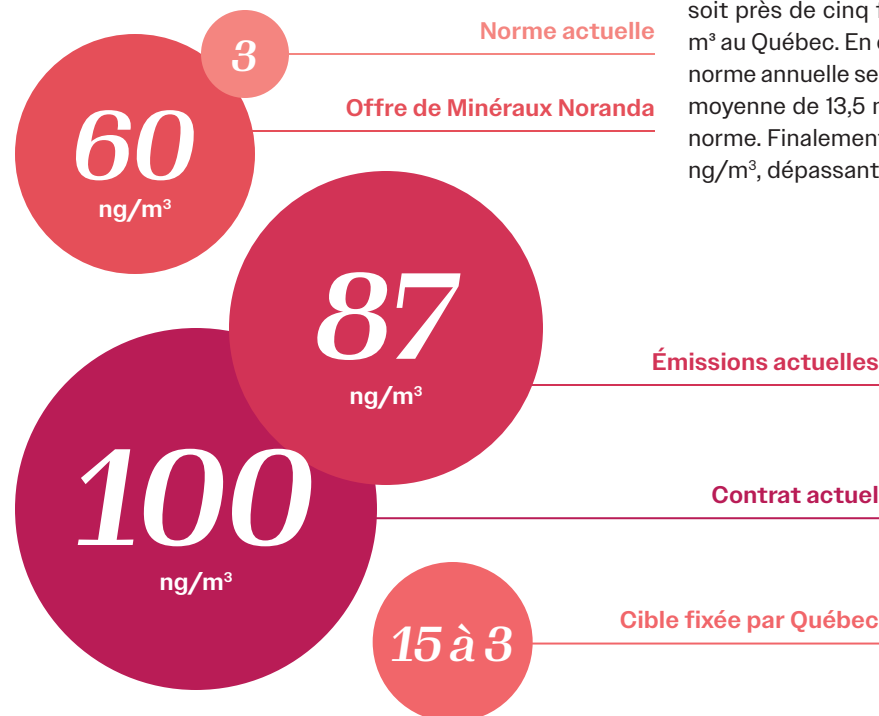
La fonderie Horne utilise des matériaux recyclables pour produire du cuivre, mais ce processus de production entraîne des émissions atmosphériques de métaux nocifs tels que le nickel, le cuivre et le plomb, ainsi que du dioxyde de carbone, du soufre, de l'arsenic et de l'acide sulfurique. Ces émissions ont inquiété la santé publique et ont poussé certains citoyens à enquêter sur les risques probables pour la santé de la population. Tenant compte des rejets par la fonderie, celle-ci est tenue responsable des dégâts écologiques existants à Rouyn-Noranda et de la dégradation des écosystèmes, notamment par des pluies acides et par une contamination aux métaux lourds comme le plomb, le cuivre et le cadmium. Pour y remédier, la fonderie a pris des mesures pour réduire son impact, comme la mise en place d'un contrôle sur les rejets et l'installation d'îlots de filtration pour protéger les nouveaux écosystèmes de la contamination. Cependant, des recherches ont montré une dégradation importante des populations de poissons et de certains lacs, notamment le lac Osisko, et ce, malgré les mesures entreprises par la fonderie Horne.

La fermeture de la fonderie semble être la décision la plus judicieuse lorsque l'on observe les dégâts écologiques suivant sa production de déchets. Cependant, son importance économique et sociale en Abitibi-Témiscamingue est de trop grande envergure pour considérer sa fermeture. La fermeture de la fonderie pourrait avoir plus d'impacts négatifs sur le long terme que de bénéfiques, surtout considérant que ce n'est pas elle l'unique responsable de l'état écologique de la ville. Donc, il serait plutôt important d'envisager de contrôler ses activités et de les assainir pour diminuer son impact au sein de la communauté et de l'environnement.



Selon Santé environnementale à Rouyn-Noranda, les autorités de la santé publique ont émis des normes concernant les émissions atmosphériques de la fonderie Horne, soit de 3 ng/m³ pour l'arsenic. Toutefois, la concentration moyenne d'arsenic émise dans l'air était de 73 ng/m³ en 2022. Glencore Canada s'engage à atteindre la moyenne annuelle de 65 ng/m³ dès 2023, sachant que l'entente gouvernementale permet à Glencore d'atteindre un maximum de 100 ng/m³, soit 33 fois plus que la norme.

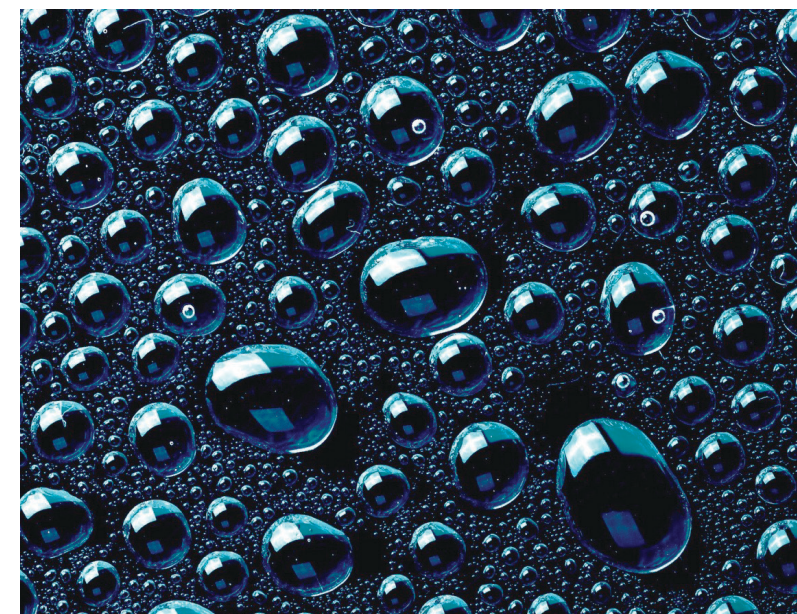
Les émissions de contaminants toxiques tels que le plomb aux abords de la fonderie Horne ont largement dépassé les normes québécoises. Le taux de plomb dans l'air en 2022 était en moyenne de 468 ng/m³ selon les données récentes, soit près de cinq fois plus que la norme requise de 100 ng/m³ au Québec. En ce qui a trait aux émissions de cadmium, la norme annuelle se limite à 3,6 ng/m³ et son taux a atteint une moyenne de 13,5 ng/m³, soit près de quatre fois plus que la norme. Finalement, en moyenne, le taux de nickel était de 27 ng/m³, dépassant ainsi la norme annuelle de 20 ng/m³.



Fonderie Horne
Émissions d'arsenic

Qu'est-ce qu'un métal lourd ?

Les métaux lourds sont des éléments métalliques naturels, donc déjà présents en petite quantité dans le sol. Leur masse volumique doit être supérieure à 5 000 kg/m³. Certains composés, comme l'arsenic et le méthylmercure, sont inclus dans les métaux lourds même s'ils n'en sont pas. Les activités humaines, telles que les industries, l'agriculture, les mines et le mauvais traitement des eaux augmentent leur concentration dans l'environnement. Les organismes sont exposés aux différents métaux lourds via l'ingestion, l'inhalation et l'absorption par la peau ou les muqueuses. La toxicité des métaux lourds dépend du composé, de sa nature chimique, de sa concentration, de son passage dans les chaînes alimentaires et de sa disponibilité dans l'environnement. Le titane et l'or sont des exemples de métaux lourds neutres compatibles avec le corps et souvent utilisés en médecine. Certains métaux lourds sont indispensables pour l'organisme comme le fer et le sélénium, alors que d'autres sont immédiatement toxiques comme le mercure, le plomb et le cadmium. Les métaux lourds toxiques représentent un risque d'intoxication, via une toxicité aiguë ou une toxicité chronique pour tout organisme vivant. La mort d'un organisme peut ainsi survenir s'il entre en contact avec certaines sortes de métaux lourds.



Les effets des métaux lourds sur l'environnement

Dans une étude récente, Jérémy Dupont révèle une faible abondance de lichens jusqu'à une distance de 15 kilomètres de la Fonderie. À moins de quatre kilomètres de l'usine, la mousse du caribou (*Cladonia rangiferina*) est absente. Cette situation est inhabituelle, puisque les lichens sont connus pour leur capacité à coloniser des environnements difficiles, comme l'Arctique et les îles volcaniques. La mousse du caribou est également une espèce sentinelle, soit une espèce utilisée pour surveiller les changements environnementaux et le niveau de pollution dans un écosystème donné. La disparition des lichens reflète donc une contamination récente.

En plus de l'impact de la fonderie Horne sur la disparition du lichen et la nécessité de prendre des mesures pour protéger l'environnement, une étude de l'Université de Montréal a mis en évidence en 2021 la contamination de la tourbe, de l'eau de tourbe et des plantes à 50 km de la fonderie. Les particules fines des rejets atmosphériques, incluant les métaux lourds, peuvent se déplacer jusqu'à 1500 km. Selon cette étude, des dizaines de milliers de tonnes de plomb ont été transportées par les poussières émises dans l'air depuis la création de la fonderie, entraînant le dépôt de ces métaux dans l'environnement. Des prélèvements ont révélé des taux anormalement élevés d'arsenic et de cadmium dans le sol des résidences à un diamètre de 4 km de la fonderie. 6,88 mg/kg de cadmium ont été prélevés par rapport à un seuil de toxicité de 5 mg/kg. Le seuil d'arsenic de 30 mg/kg a, pour sa part, été dépassé de 6%. Toutefois, aucun terrain testé n'a dépassé la norme de sécurité pour le plomb qui est de 500 mg/kg. Les résultats soulignent la nécessité de réduire les émissions de substances nocives pour protéger l'environnement.



L'impact des émissions de la fonderie ne se limitent pas à la flore locale et à la contamination des sols. Elle impacte également la faune à proximité. Une contamination par des métaux lourds peut rendre la consommation d'animaux dangereuse pour les humains. En effet, cette contamination engendre des effets sur le métabolisme des organismes touchés en augmentant le stress oxydatif (déséquilibre dans la production de radicaux) conduisant à des dommages cellulaires et tissulaires. Ce phénomène réduit ainsi la variabilité génétique, entraînant une diminution de l'adaptabilité d'une population à son environnement, une augmentation de la consanguinité et une prédisposition aux maladies. De plus, une contamination en métaux lourds, plus précisément au cadmium, perturbe le succès reproducteur des organismes contaminés, tels que les orignaux, les lièvres et les lagopèdes chez qui on a dosé 1,7 fois le seuil de toxicité du cadmium (5 mg/kg par jour).



Le lac Osisko et la fonderie Horne à Rouyn-Noranda

Selon Guillaume Grosbois, spécialiste en écologie des écosystèmes aquatiques à l'Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue (UQAT), le lac Osisko est pollué de multiples manières ce qui a mené, au fil des années, à une perte de biodiversité dans le lac. En 2015, la ville de Rouyn-Noranda a effectué une analyse de la contamination du Lac Osisko par des polluants tels que métaux lourds. La concentration de ces polluants dépassait les concentrations recommandées pour protéger les organismes aquatiques et benthiques. La bioaccumulation des métaux lourds chez les dorés jaunes explique leur extinction précédant l'année 2000. La

réintroduction de cette espèce dans le lac Osisko, pour un maintien de la population comptant 80 000 individus, s'est produite de 2000 à 2016. « La réintroduction fonctionnait mal au départ parce que le lac, encore trop pollué, ne permettait pas d'atteindre les conditions optimales de survie pour les dorés, mais ça va mieux maintenant. » mentionne Guillaume Grosbois. La population de dorés du lac se maintient davantage maintenant, ce qui montre une évolution importante de l'état du lac pour rétablir une bonne biodiversité.

Contrairement aux attentes, selon Ebird, le lac Osisko est un point névralgique pour plusieurs espèces d'oiseaux, dont le grèbe jougris qui niche seulement à cet endroit au Québec.

Bioaccumulation et bioamplification

La bioaccumulation se produit lorsque des substances nocives sont absorbées par un organisme à partir de son milieu de vie. Ces substances s'accumulent progressivement dans les tissus des organismes. On parle de bioaccumulation lorsque l'absorption est plus élevée que l'élimination par l'organisme. Elle est habituellement suivie d'une bioamplification qui se produit lorsqu'un organisme, ayant accumulé des substances nocives, est consommé par un autre organisme. Il y a donc amplification des substances nocives chez le consommateur qui absorbe les substances toxiques présentes dans sa proie, en plus d'être lui aussi sujet à la bioaccumulation via son milieu. Habituellement, plus un organisme est élevé dans la chaîne alimentaire, plus l'accumulation de substances toxiques dans ses tissus est élevée.

Bioaccumulation



Bioamplification



● Niveau de contamination

Les impacts des rejets atmosphériques sur la santé humaine

Guillaume Grosbois explique que cette espèce semble adorer les lacs contaminés puisque la présence limitée de gros poissons due à la pollution diminue la compétition pour les ressources alimentaires, telles que les petits poissons, les insectes et les crustacés. Selon les inventaires de population de grèbes jougris à Rouyn-Noranda et d'autres régions où il est retrouvé, la morphologie du lac ainsi que l'abondance de production végétale due à l'apport élevé en phosphore favorisent la construction de son nid flottant fabriqué à l'aide de végétaux empilés, de boue et de végétation fixatrice près des berges. Ceci explique l'établissement de cette espèce sur certains lacs en Abitibi-Témiscamingue depuis les années 1980, incluant le lac Osisko. La ville de Rouyn-Noranda et ses habitants craignent que les couples nicheurs de grèbes jougris s'installent ailleurs si l'on décontamine les lacs et qu'on change le milieu dans lequel ils vivent en rétablissant certaines populations, comme celle du doré jaune.

Malheureusement, le lac Osisko est encore trop pollué pour que la population humaine de Rouyn-Noranda puisse pêcher et s'y baigner en toute sécurité. Guillaume Grosbois explique que le lac est entouré de la fonderie, de mines et de quelques zones agricoles et qu'il est le point central d'un immense bassin versant. Les polluants intrants sont multiples, il est donc impossible d'associer la pollution des lacs à la fonderie Horne uniquement.

Rouyn-Noranda, l'indicateur de santé (ce qui détermine si la santé de la population est bonne ou mauvaise) est moins bon qu'ailleurs au Québec. Selon l'Association Québécoise des Médecins pour l'Environnement (AQME), la fonderie Horne est le plus grand émetteur de plomb et d'arsenic au Canada avec 56 tonnes de plomb et 36,5 tonnes d'arsenic rejetées en 2021. Dans son rapport, l'AQME dit que l'exposition au plomb affecte le développement du cerveau et engendre des problèmes cognitifs (diminution du quotient intellectuel, déficit de l'attention...) chez les jeunes enfants exposés. Toujours selon ce rapport, l'arsenic et le cadmium sont des métaux carcinogènes, donc susceptibles de causer des cancers. Ces métaux lourds causent également plusieurs effets néfastes sur la santé tels que le diabète, des maladies cardiovasculaires, de la toux chronique et des maladies de peau lors d'une exposition à long terme.

Selon les données de surveillance de l'état de santé de la population de Rouyn-Noranda présentées en mai 2022, il y aurait huit décès prématurés par an en raison de la pollution de l'air, une proportion élevée de naissances de faible poids (8,1% contre 6,1% pour le reste du Québec), un grand pourcentage de la population atteint d'une maladie pulmonaire obstructive chronique (13,5% contre 9,1% pour le reste du Québec) et une forte incidence du cancer du poumon (141 personnes sur 100 000 contre 108 sur 100 000 pour le reste du Québec).



De nouveaux polluants inquiétants

De nouveaux polluants ont été retrouvés dans les rejets atmosphériques de la fonderie. En effet, les terres rares ont été retrouvées dans certains échantillons de lichens et d'araignées, souligne Dr. Rosabal, écotoxicologue et professeur au département des sciences biologiques de l'UQÀM. Ces nouveaux métaux sont nécessaires à la transition énergétique, puisqu'ils sont indispensables à la fabrication des panneaux solaires, de batteries des voitures électriques et d'appareils de haute technologie.

Cependant, les fonderies actuelles ne disposent pas encore d'infrastructures pour les recycler. De plus, ils n'ont toujours pas de réglementation, précise Dr. Rosabal. La fonderie Horne peut en relâcher beaucoup et ce sans le déclarer. Ce constat cause de nouvelles inquiétudes, car peu d'études ont été effectuées sur la toxicité et les effets néfastes provoqués par une inhalation ou une ingestion accidentelle des terres rares. Leurs impacts sur les écosystèmes et la santé humaine restent inconnus.

Nombre de polluants dont la fonderie Horne doit déclarer les rejets, l'élimination ou le transfert :

24

Source : Inventaire national des rejets polluants, Environnement Canada

Dre Lemieux, médecin de famille à Rouyn-Noranda impliquée dans la problématique de la fonderie Horne, explique qu'il y a effectivement un moins bon indicateur de santé à Rouyn-Noranda. Elle demande de faire plus d'études, car peu de métaux et polluants relâchés par la fonderie sont documentés et réglementés. On ignore donc les risques que ceux-ci peuvent entraîner pour la population. Dre Lemieux demande également de la transparence de la part des propriétaires de la fonderie. Les stations d'échantillonnage des rejets atmosphériques sont toutes situées au sud, ce qui permet à la fonderie d'augmenter leur production lorsque le vent ne souffle pas en direction des capteurs. Cela est inacceptable, selon Dre Lemieux, et brise la confiance des citoyens.

Des pistes de solutions

La contamination par les métaux lourds est difficilement réversible, car ils ne subissent pas de dégradation dans l'organisme. Cependant, il semble y avoir des améliorations. Dans les années 90, la contamination s'étendait sur un diamètre de 150-200 km de la fonderie. Maintenant, elle ne s'étend que sur 50 km, ce qui indique une récupération naturelle. Un maintien de la fonderie peut s'envisager si des mesures strictes permettent de préserver un écosystème sain et une population en bonne santé. Cela nécessite une volonté politique, des mesures de contrôle et la réduction des rejets de tous les contaminants.

En revanche, avant d'établir de nouvelles réglementations, il est important de faire plus d'études pour déterminer les seuils sécuritaires. En attendant, le principe de précaution doit être respecté. Le principe de précaution est un principe selon lequel, en cas d'incertitude scientifique quant à la présence ou l'absence de dangers pour la santé publique ou l'environnement, des mesures de prévention doivent être prises pour minimiser le risque potentiel. Aussi, il est important d'agir rapidement en utilisant les autorisations pour faire des projets pilotes. Les seuils doivent être fixés avec des cibles intermédiaires pour une mise en application en 2027.



Qu'en pense la population ?

Pour Dre Lemieux, la fonderie Horne est une source d'inquiétudes, à laquelle elle est confrontée quotidiennement avec ses patients dans son cabinet de médecine. Étant mère, elle a l'impression de ne pas donner le meilleur à ses enfants (elle se sent impuissante face à cette situation). Cependant, elle ne souhaite pas la fermeture de la fonderie, car elle est consciente des impacts/répercussions positifs que celle-ci apporte sur le plan économique. Elle souhaite toutefois que la présence de l'industrie ne nuise pas à la santé de la population environnante. Plusieurs ne sont cependant pas du même avis. Certains habitants ont quitté la ville de Rouyn-Noranda afin de s'éloigner le plus possible du risque que peut représenter la fonderie Horne. D'autres ont accusé les travailleurs de la fonderie de ne pas en faire assez pour protéger la population locale. Certains des travailleurs ont également reçu des menaces.

Les enjeux concernant l'importance économique de la fonderie Horne, la santé de la population et des écosystèmes voisins semblent causer plusieurs tensions dans la ville. Dre Lemieux explique que ces réactions seraient sûrement dues à l'exagération médiatique entourant la fonderie Horne depuis quelques années. Elle précise qu'il faut faire attention avec les médias, puisque ceux-ci ont tendance à exagérer la situation.

Enfin, elle reconnaît que la couverture médiatique a permis de mettre en place de nouvelles mesures pour améliorer le bien-être de la population. Par exemple, la fonderie va moderniser ses infrastructures afin de permettre la diminution des rejets atmosphériques. De plus, plusieurs études analysent les effets des contaminants relâchés. Si des mesures mises en place la rendent optimiste, Dre Lemieux est aussi consciente que le gouvernement et la fonderie devront en faire plus pour assurer une meilleure qualité de l'air et accroître le bien-être de la population de Rouyn-Noranda.

Un message d'espoir

La décontamination du lac Osisko est un projet ambitieux qui vise à assainir l'environnement de la région de Rouyn-Noranda pour les 100 prochaines années. Pour remédier à cette situation, un plan de décontamination à long terme du lac Osisko a été mis en place, impliquant la plantation de plantes hyperaccumulatrices de métaux lourds pour absorber les contaminants du sol et de l'eau. Ces plantes ont la capacité unique d'accumuler des concentrations élevées de métaux lourds dans leurs tissus, ce qui les rend idéales pour la décontamination. Les plantes seront cultivées pendant plusieurs années, puis récoltées et éliminées en toute sécurité, ce qui permettra de retirer les métaux lourds du sol.

Le projet de décontamination du lac Osisko est un exemple de collaboration entre les scientifiques, les gouvernements et les communautés locales pour trouver des solutions durables aux problèmes environnementaux. En travaillant ensemble, ils ont mis en place un plan ambitieux pour assurer la santé et la sécurité de la population de Rouyn-Noranda pour les 100 prochaines années.

Par Gabrielle Boudreault,
Catherine Vadnais, Guillaume
Martel et Sandrine Girard

Sommes- nous prêts à un monde *dominé* par les champi- gnons ?



Depuis l'an 2000, on observe un virage important en science qui nous a permis de mettre de l'avant de nombreuses avenues thérapeutiques avec l'utilisation des champignons dans la médecine humaine, notamment avec l'utilisation de leurs cellules contre la malaria, pour résorber l'autisme ou pour retarder la croissance du cancer. Il existe de plus en plus de preuves scientifiques qui confirment que le royaume des champignons contribuera à guérir des maladies connues de tous. Mais qui sont ces drôles d'organismes et comment les scientifiques sont parvenus à les utiliser ?

Connaître ses fungi

Les champignons, qui se trouvent dans un royaume séparé des plantes et des animaux, ont reçu beaucoup moins d'attention des divers domaines scientifiques à travers l'histoire. Aujourd'hui, ils suscitent un intérêt bien plus important, et ce, par leurs résultats impressionnants. Depuis peu, les scientifiques commencent à mieux comprendre leur pouvoir thérapeutique. Il ne sera pas question dans cet article de délibérer sur la médecine alternative, sur les champignons magiques ou sur leurs vertus culinaires. Nous aborderons plutôt l'utilisation de leurs cellules comme traitement contre certaines maladies. Venez vivre la grande épopée des champignons en science !

Le commun des mortels connaît les champignons qui se retrouvent dans nos assiettes. La plupart supposent qu'il s'agit d'un simple légume. Cependant, les champignons sont à vrai dire ni une plante ni un animal. Ils font plutôt partie de leur propre règne dans l'arbre de la vie, celui des fungi (fungus au singulier). Mais pourquoi sont-ils si différents des plantes ? Parce qu'ils sont des organismes hétérotrophes, c'est-à-dire qu'ils utilisent la matière organique comme source d'énergie, contrairement aux plantes qui utilisent le soleil (autotrophes). Les champignons ne font donc pas de photosynthèse. Ils possèdent souvent des protéines complètes et des acides aminés essentiels retrouvés dans la viande que nous consommons, nécessaires au bon fonctionnement de notre organisme. Il n'est donc pas surprenant que le champignon soit plus proche des animaux que des plantes. Selon Paul Stamet, un pionnier dans le domaine, les fungi partageraient 50 % de leur génome avec celui des humains ! D'ailleurs, sans eux, les chances que nous soyons sur terre auraient été infiniment plus faibles. C'est grâce à leur capacité de « manger » les roches (oui, vous avez bien lu !) qu'ils ont permis aux plantes de sortir de l'eau et de coloniser la terre. Ensemble, ils ont développé une relation symbiotique dans laquelle le champignon procurait des minéraux à la plante qui, en retour, fournissait ses sucres au champignon. C'est grâce à cette association que la vie terrestre a pu prendre place !

Il est important de comprendre que le champignon que nous voyons, orné de son joli chapeau, n'est qu'en fait que l'organe reproducteur de l'organisme. Cet organe n'est donc que la pointe de l'iceberg. Presque tout se déroule sous terre, où se trouve le mycélium, là où surviennent la plupart de ses activités métaboliques telles que se nourrir, croître et même se défendre. Toutefois, ce n'est pas tous les fungi qui se reproduisent à l'aide de cet organe reproducteur. En effet, les levures, des fungi de nature microscopiques souvent utilisés pour la fabrication de pain ou de bière, se reproduisent sans former de champignon. Ils élaborent plutôt un bourgeon. Les fungi sont très hétéroclites, c'est-à-dire que certains sont microscopiques et d'autres macroscopiques (l'organisme le plus grand au monde est un fungus !). Ils forment un règne très diversifié et nous n'en connaissons qu'une infime partie. Encore à ce jour, nous découvrons 1300 nouvelles espèces de fungi par année !

L'anatomie des fungi

Champignon
(Organe reproducteur)

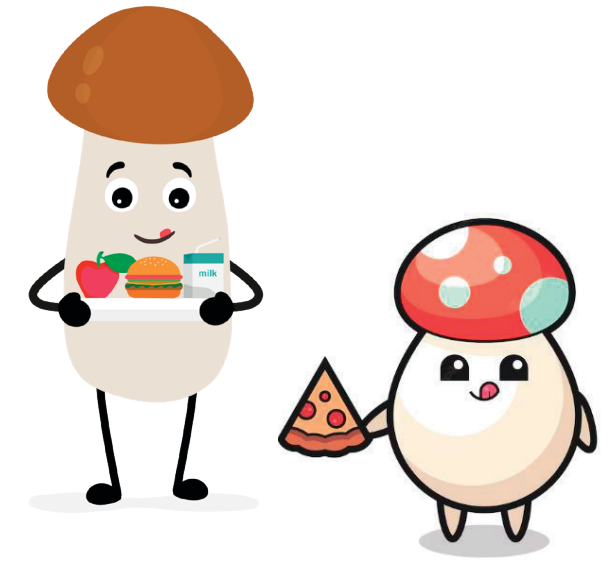
Mycélium



Qu'est-ce que mange un fungus en hiver ?

Les fungi doivent se nourrir pour obtenir l'énergie nécessaire pour croître. Pour ce faire, ils vont chercher leur nourriture dans leur environnement et ils utilisent des enzymes ainsi que de l'acide pour digérer. Ils utilisent donc la même technique que l'estomac humain ! Cependant, comme les fungi n'ont pas d'estomac, ils vont sécréter ces enzymes et acides afin d'effectuer une digestion externe. Une fois la matière digérée, ils peuvent l'absorber et l'utiliser. Le type de nourriture dépend du type de fungus. Un grand nombre se nourrissent de matière organique en décomposition. Cependant, certains peuvent se nourrir d'aliments plutôt étonnants.

Le saviez-vous ? Les champignons mangent des roches. Lorsqu'un champignon affamé s'ancre sur un rocher sans méfiance, il a un plan d'attaque. Tout d'abord, il libère de l'acide, dissolvant les minéraux de surface pour accéder à sa nourriture. Ensuite, il libère des produits chimiques qui extraient cet aliment, dans ce cas, du fer. Enfin, ses filaments fongiques à croissance rapide coupent la roche comme un couteau, creusant des canaux profonds qui brisent les surfaces appauvries en fer et exposent des couches à la consommation.



La pénicilline est encore aujourd'hui utilisée pour guérir les pneumonies, les otites, ainsi que les méningites causées par les bactéries pneumocoques.

La mycologie est la science qui étudie les fungi. Encore à ce jour, elle n'est pas reconnue par l'UNESCO ; qui la classe en « botanique » (pour les champignons) et en « microbiologie » (pour les levures). De plus, elle se révèle peu enseignée dans les universités, y compris celles du Québec. Ceci reflète le problème actuel concernant la sous-représentation des fungi dans la science en contraste au rôle crucial qu'ils occupent dans la nature, en particulier lorsqu'il est question de santé humaine. Ceci amène à se poser une question fondamentale : quelle est la place des fungi au sein de la science ? Serions-nous prêts à dire qu'ils mériteraient une place au sein des mégasciences ?

Les fungi au sein des connaissances humaines

Les fungi ont longtemps été utilisés par l'humanité avant d'être implantés dans nos pharmacies. Des chercheurs à l'Université de Liverpool ont découvert dans le tartre des dents des Néanderthaliens qu'ils s'automédiquaient avec divers fungi pour traiter leurs infections ou blessures. Bien sûr, les Néanderthaliens ne connaissaient pas les mécanismes derrière la guérison de leurs abcès buccaux, mais ils comprenaient qu'en mangeant des fungi, ces derniers se résorbaient. Ce n'est qu'en 1928 qu'Alexander Fleming a découvert par hasard la pénicilline, qui a révolutionné le monde. Cela aurait pris plusieurs milliers d'années avant d'avoir les connaissances mécanistiques sur la propriété thérapeutique des fungi. À la suite d'un retour de vacances, Fleming observa que ses cultures de bactéries s'avaient contaminées par un fungus microscopique *Penicillium notatum*. Pour une raison qu'il ignorait, les bactéries dans ses cultures ne survivaient pas autour de *Penicillium notatum*. Les scientifiques ont ainsi découvert que la pénicilline empêche les bactéries de fabriquer leur membrane (enveloppe protectrice) causant leur mort. À la suite de sa découverte, la pénicilline devint un joueur clé dans le domaine médical, notamment en sauvant la vie de millions de soldats durant la Seconde Guerre mondiale.

Qu'est-ce qu'une Mégascience ?

C'est un concept développé par l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE) qui regroupe plusieurs domaines scientifiques nécessitant une organisation internationale. De cette manière, le financement peut être partagé entre pays.

L'histoire des champignons dans la science



50 000 av. n. è.

Premiers signes d'utilisation d'un fungus producteur de pénicilline par les Neandertal dans le but de traiter les abcès buccaux.

5 300 av. n. è.

Un homme vivant pendant l'âge du cuivre, a été naturellement momifié avec une petite bourse à sa ceinture. Celle-ci contenait de l'amadou (*Fomes fomentarius*) un champignon allume feu. Il portait aussi du polypore du bouleau (*Fomitopsis betulina*) qui était fort probablement utilisé pour des usages médicaux (antibiotique, vermifuge et vulnérable).



371 av. n. è.

Théophraste, un disciple d'Aristote effectue une première classification fongique. Il marque le début de l'intérêt pour l'étude de la mycologie.



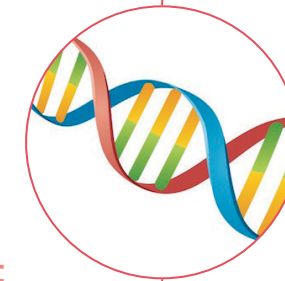
100 av. n. è.

D'anciens écrits chinois d'écrivait de nombreux champignons médicinaux populaire aujourd'hui. On pouvait lire dans ces textes la capacité de plusieurs champignons à guérir les maladies respiratoires et autres maladies.

Les fungi tombent dans l'oubli

1928

Découverte de la pénicilline par Alexander Fleming. La pénicilline est devenue le premier antibiotique moderne. Cette substance a sauvé des millions de vies pendant la Seconde Guerre mondiale et des millions d'autres depuis.



2003

L'arrivée de la génomique, grâce aux nouvelles technologies. Cette science permet d'étudier et d'identifier les gènes. Elle a donc grandement simplifié les mycologues à identifier les fungi ainsi qu'à les classer. Elle a également facilité l'utilisation des champignons en pharmacologie.

Les fungi tombent dans l'oubli pour une deuxième fois

2017

Après la découverte d'une nouvelle espèce de champignon au Nunavut, Christopher Bérubé (membre d'un laboratoire à l'université Laval) isole et synthétise une molécule ayant des capacités antimalaria.



2018

Les champignons sont encore sous représentés sur la liste rouge des espèces menacées de l'union internationale pour la conservation de la nature (IUCN). On y retrouve sur cette liste seulement 56 espèces de champignons contre 25 000 espèces de plantes et 68 000 espèces animales.

Science citoyenne et les avancées écologiques

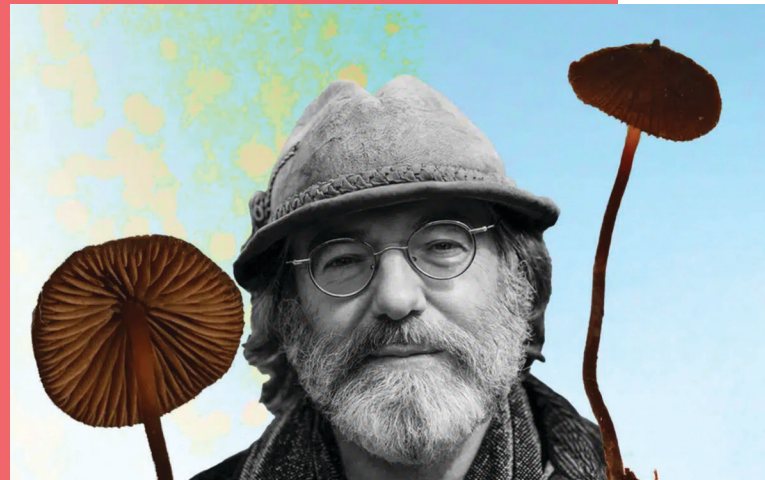
Suite à son succès avec la pénicilline, la mycologie gagne soudainement en popularité, mais retombe cependant dans l'oubli jusqu'au début des années 70. Au cours de cette période, l'extraction des cellules des fungi a à nouveau révolutionné la médecine en découvrant des pistes médicamenteuses prometteuses. Ces médicaments, tels que les statines pour soigner l'excès de cholestérol et les cyclosporines, utilisés pour éviter les risques de rejet des greffes d'organes, élaborés au moyen de composés d'origine fongique, ont su contribuer à la relance de cette science. Toutefois, freiné par le manque de technologie et de relève scientifique, l'intérêt pour la mycologie diminue drastiquement.

C'est grâce aux efforts de citoyen.nes et d'écologistes dans les forêts que les connaissances sur les espèces de fungi ont pu se poursuivre. Ces individus mi-passionnés, mi-visionnaires, ont su maintenir la place des fungi dans la science grâce à leurs associations citoyennes à travers le monde. Leurs contributions au sein de cette science ont su enrichir une vaste base de données de nouvelles espèces, notamment par la mise en œuvre de l'application « La Fonge » par le mycologue québécois Paul Dauzet.

Il fallut cependant attendre les années 2000 avant que les fungi aient leur place dans les sciences biomédicales. Ces années marquent un virage technologique qui permis aux scientifiques de comprendre le métabolisme des fungi, incluant la façon par laquelle ils résistent aux antibiotiques. C'est à ce moment exact que les scientifiques ont découvert comment ils pouvaient contribuer aux antibiotiques actuels. Les immunologues et les chimistes peuvent remercier les écologistes et les citoyen.nes d'avoir fait perdurer l'intérêt envers la mycologie. Encore aujourd'hui, la réalité demeure que ce sont les écologistes et citoyen.nes qui font le pont entre les forêts et les laboratoires. En effet, les immunologues et les chimistes qui travaillent avec les fungi n'ont bien souvent jamais mis les pieds dans la forêt où pousse leur sujet d'étude.



Un autre exemple, plus près de chez nous, est Monsieur Patrice Dauzet, vice-président des affaires académiques du cercle mycologue de Montréal. Il est actuellement impliqué dans le développement d'une application, nommée « La Fonge », qui consiste en « un répertoire des connaissances sur les champignons macroscopiques du Québec ». La vente de cette application permet de financer les recherches sur les fungi et leur identification afin de contribuer au savoir mycologique.



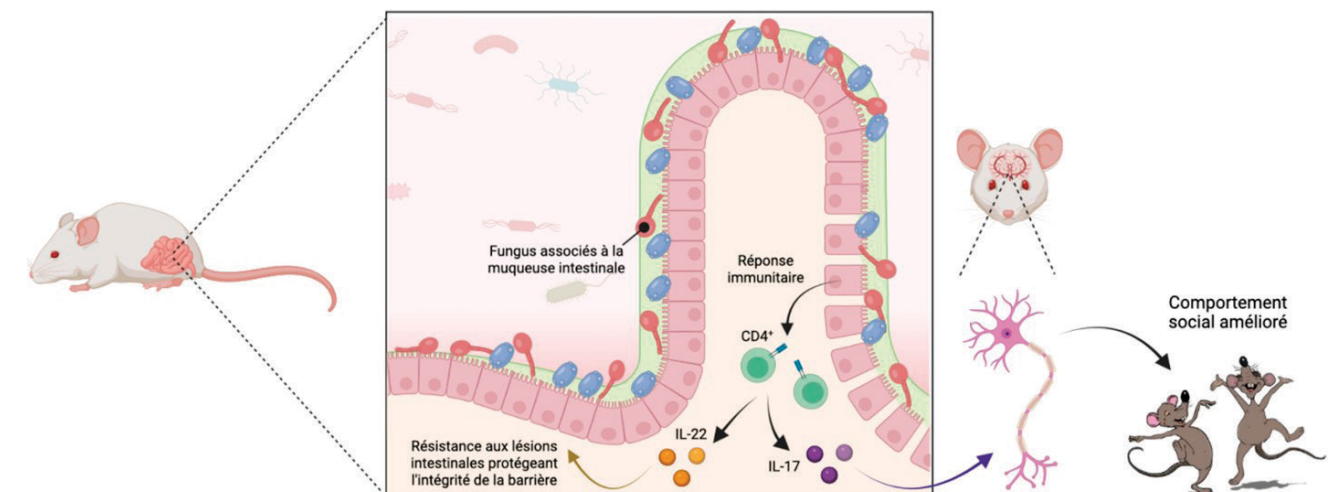
Paul Stamets représente un excellent exemple de citoyen influent. Stamets est un Américain vivant maintenant sur la côte ouest du Canada. Selon Stamets la santé humaine dépend de la myco-diversité. Il croit dur comme fer au potentiel médicinal des fungi et a su utiliser les médias pour partager sa passion auprès de la communauté scientifique. À ce jour, il est reconnu comme le pionnier dans la matière. Il est l'auteur de plusieurs romans à succès, d'articles d'identification et d'un documentaire Netflix abordant les propriétés incroyables des fungi. Il est également conseillé dans un programme de médecine intégrée et collabore dans des projets de recherches cliniques sur des traitements contre le cancer et le VIH. Il a su populariser les champignons au sein de la communauté scientifique et citoyenne.

Les fungi : de vrais petits chimistes

Pour mieux comprendre le parcours des fungi en science, voici un aperçu d'une de leurs récentes réalisations dans le domaine de la santé humaine. Attachez-vous bien, on plonge!

Les fungi possèdent un lien beaucoup plus étroit avec les animaux que tout autre règne. En effet, plusieurs de leurs molécules sont étroitement apparentées aux nôtres. Si nous pouvions identifier les immunités naturelles que les fungi ont développées, nous pourrions les extraire pour venir en aide aux humains. Vous comprenez maintenant pourquoi ces organismes sont des candidats très attrayants pour l'élaboration de nos médicaments. Leurs propriétés médicinales pour le système immunitaire, pour les cancers et pour les maladies neurologiques ont tout d'abord été grandement utilisées dans certaines cultures asiatiques et ne commencent que récemment à solliciter l'intérêt de plusieurs chercheurs en Occident.

C'est entre autres le cas de la scientifique Irina Leonardi, chercheuse en médecine à l'Université de Cornwall, qui oriente ses recherches sur l'interaction entre les fungi et le microbiote de l'intestin (flore intestinale), communément appelé *mycobiote*, dans l'étude de diverses maladies. Bien qu'il soit connu que le microbiote abrite en grande majorité des bactéries, il n'en reste pas moins que les communautés fongiques en sont une partie intégrante également et qu'un déséquilibre au sein de ce dernier pourrait provoquer des effets néfastes, non seulement sur la santé de l'hôte, mais également sur son comportement neurologique. Ce phénomène a été observé dans les dernières découvertes de Leonardi qui ont permis de modifier le comportement social d'un rat, ouvrant les portes à d'éventuels traitements contre les troubles du spectre de l'autisme. Le protagoniste de cette intrigante trouvaille s'avère être le célèbre *Saccaromyces*, associé à la muqueuse intestinale, qui possède la capacité de modifier le système immunitaire de l'hôte, et ce, en lui induisant une protection immunitaire. L'étude élaborée sur des souris soumises à une infection bactérienne a su établir un lien entre le déséquilibre microbien intestinal, fréquemment observé chez les patients du spectre de l'autisme, et la régulation des fonctions cérébrales et du comportement social. Il a été démontré que cette espèce de champignon possède la capacité de réduire la perméabilité de la barrière intestinale, et ce, en octroyant une résistance aux lésions intestinales causée par l'infection bactérienne, empêchant ainsi l'altération de la composition du microbiote. Un déséquilibre des composants microbiens intestinaux, provoqué par une « fuite », pourrait potentiellement stimuler une réponse immunitaire, menant à une inflammation du système nerveux central (cerveau), et par le fait même, une modification du comportement social de l'individu.



Autres applications thérapeutiques

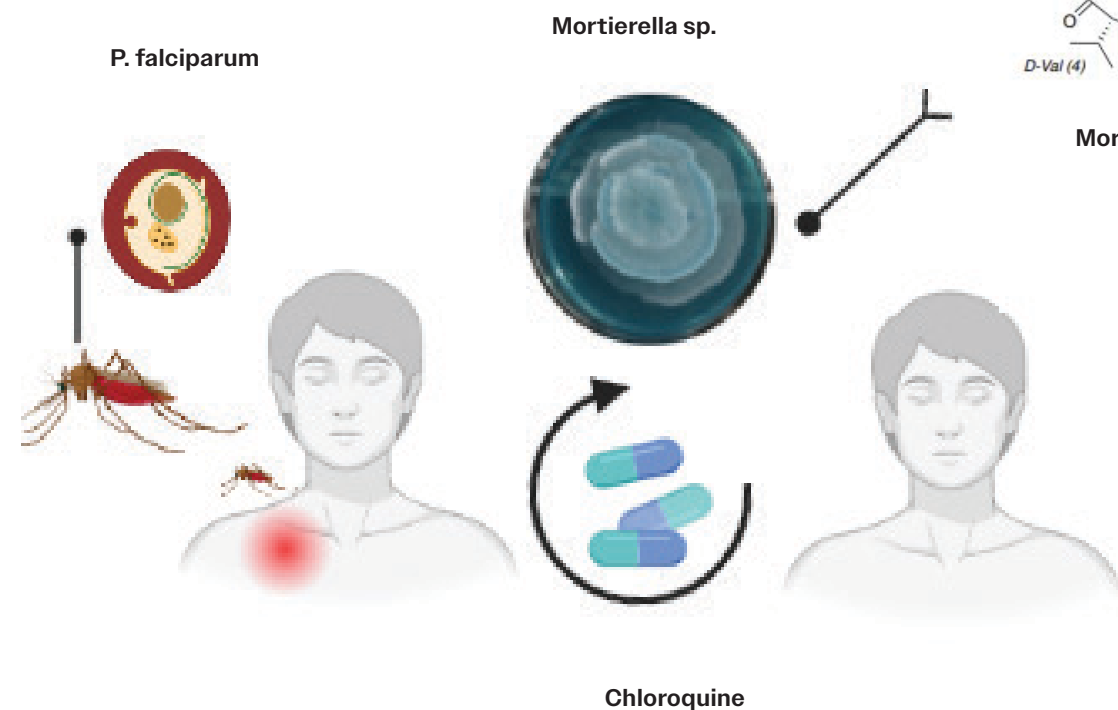
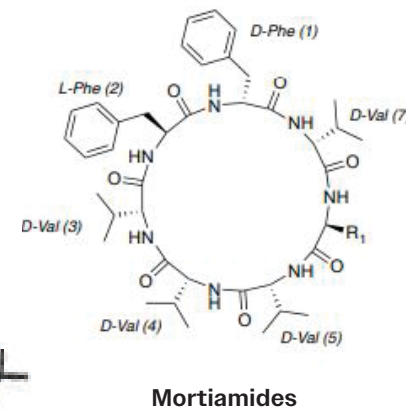
Vous connaissez probablement les propriétés zombifiant des cordyceps impliqués dans la contamination des humains dans la série à succès « The Last of Us ». En réalité, ces fungi vont plutôt zombifier les fourmis afin de prendre le contrôle de l'insecte, le menant bien souvent jusqu'à la mort. Mais, saviez-vous que les cellules de ces fungi peuvent également ralentir la progression de cellules cancéreuses chez l'humain ? Le *Trametes versicolore* en est un bon exemple. Il a été prouvé qu'il peut être un allié efficace contre la progression du cancer du sein. L'action de cette espèce de fungus implique une amélioration des réponses du système immunitaire par un renforcement de la surveillance par les cellules de défense de l'organisme et par une plus grande tolérance aux composantes tumorales.

Les fungi produisent naturellement des antibiotiques pour contrôler ou tuer les bactéries qui les menacent dans l'environnement. Ces antibiotiques naturels ont été utilisés dans la fabrication de la pénicilline et des céphalosporines, des antibiotiques modernes largement utilisés en médecine pour combattre les infections. Jusqu'à présent, les scientifiques ont su identifier des fungi prometteurs contribuant à l'élimination de tumeurs, de bactéries et de virus, à la réduction du cholestérol, au contrôle de la glycémie chez les personnes atteintes du diabète de type II et de nombreuses autres maladies connues. Comme quoi on avait sous-estimé ces petits chimistes jusqu'à présent.

Histoire à succès de chez nous

Les découvertes scientifiques ne se font pas qu'ailleurs. En effet, une équipe de chimistes québécois ont découvert un nouveau fungus étonnant qui s'attaquait à la malaria (paludisme). Il faut savoir que la malaria est l'une des maladies infectieuses les plus graves au monde. En 2020, l'Organisation mondiale de la santé (OMS) a estimé qu'environ 241 millions de cas de paludisme dans 91 pays avaient eu lieu pendant l'année et que la maladie avait causé environ un demi-million de décès. La résistance croissante du parasite de la malaria aux thérapies médicamenteuses a créé un besoin urgent de développer de nouveaux agents antipaludiques.

L'histoire débute en 2017 où des chercheurs de l'Île-du-Prince-Édouard, dirigés par Russell Kerr, découvrent une nouvelle espèce de fungi, la *Mortierella sp.*, dans les sédiments marins du Nunavut. En évoluant dans cet environnement extrême, ce fungus microscopique a su développer des métabolites secondaires uniques lui permettant de survivre.



Intriguée par cette découverte, l'équipe de chimistes de Normand Voyer de l'Université Laval, qui se spécialise dans la chimie bio-organique et dans la reproduction de cellules naturelles pour la médecine, invita l'équipe de Kerr à leur faire parvenir un extrait de ce fungus. C'est grâce aux recherches menées par Christopher Bérubé qu'ils ont découvert que ce fungus était composé d'une structure à quatre cellules, appelées mortamides (A, B, C, D), qui possèdent une activité métabolique agissant contre le parasite du paludisme (ou malaria). Ces molécules naturelles ont un effet inhibiteur sur la prolifération de *P. falciparum* et permettent de contre-carrer la résistance que le parasite a su développer contre le médicament actuel, la Chloroquine. Toutefois, trouver de nouveaux composés médicinaux à partir de fungi sauvages n'est que la première étape. Une fois les composés cibles trouvés, il faut parvenir à les fabriquer en laboratoire en utilisant des méthodes de bio-ingénierie. C'est exactement ce que Christopher a accompli avec les mortiamides, et ce, dans un temps record de six mois. À ce jour, Christopher poursuit ses recherches afin de pouvoir homologuer cette découverte sur le marché pharmaceutique.

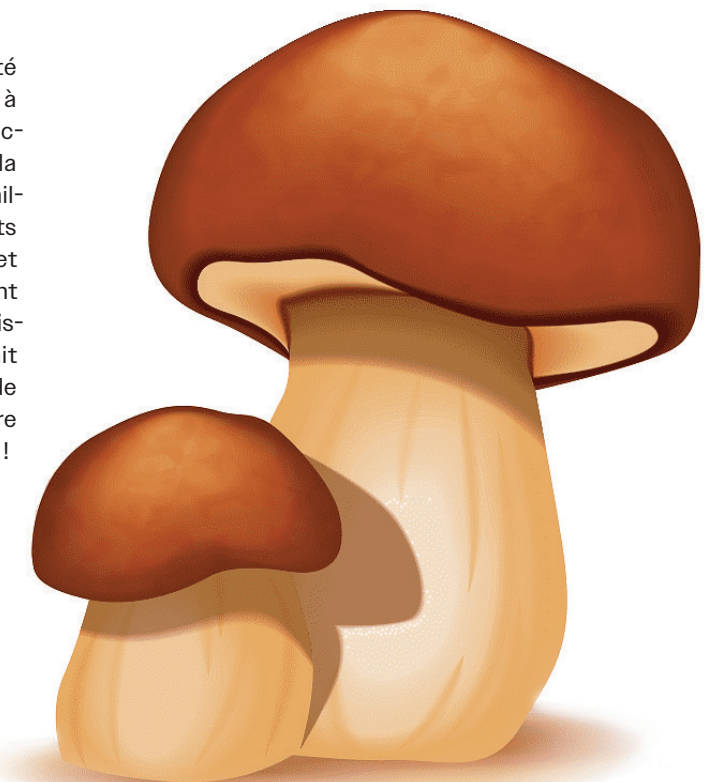
Cette découverte rappelle l'importance de la biodiversité de notre planète, qui renferme une abondante armoire à médicaments, offrant aux chimistes une gamme de structures moléculaires servant de sources d'inspiration pour la découverte de remèdes pharmaceutiques. Il existe des millions d'espèces de fungi qui dorment encore dans nos forêts canadiennes et qui méritent d'être protégées, exploitées et étudiées. D'autant plus que ces ressources sont actuellement menacées par les changements climatiques et pourraient disparaître avant même d'avoir été découvertes. Si on ne fait rien, on risque de perdre une grande partie de la diversité de nos fungi. Ils sont des petits chimistes qui utilisent la nature comme laboratoire, nous serions fous de ne pas les utiliser !

Un futur prometteur

On en parle peu, on les voit encore moins, mais il existe plus de 1,5 million d'espèces de fungi sur notre planète. Ils sont six fois plus nombreux que les plantes. Depuis des milliards d'années, ce groupe d'organismes incroyablement diversifié a développé une variété d'adaptations uniques pour survivre. Ils transforment la matière, fabriquent du sol, digèrent des polluants, nourrissent les plantes, fabriquent des médicaments, manipulent le comportement et guérissent des maladies. Leur structure cellulaire est unique sur Terre et nous ne sommes qu'au début de leurs applications en santé humaine.

Malgré qu'ils aient été longtemps en marge de la science, nous pouvons maintenant compter sur des scientifiques passionnés afin de découvrir de nouveaux fungi ayant le pouvoir de ralentir la propagation de maladies connues. Le potentiel des fungi est tellement grand que nous croyons qu'ils méritent leur propre science.

Je crois maintenant que vous ne regarderez plus les champignons sur votre pizza de la même manière.



Par Xavier Bolduc,
Annie Boulé, Fanny Exantus,
et Raymond Fred Ekoum

De plus en plus *allergiques...* Aux changements *climatiques !*

Est-ce que les variations climatiques entraînent une augmentation des cas et de la sévérité des allergies saisonnières ?



Depuis près d'un demi-siècle, davantage de personnes semblent être touchées par des allergies de plus en plus sévères aux pollens. Le phénomène est notamment accentué dans les régions urbaines. Réalité ou illusion ? La saison chaude s'allonge avec les variations climatiques, et les végétaux s'accommodent autant qu'ils le peuvent pour survivre. Malheureusement, le pollen et la pollution de l'air semblent former un cocktail nocif pour nos voies respiratoires.

Qu'est-ce qu'une allergie respiratoire & comment ça fonctionne ?

Communément appelées « rhume des foins » ou même « rhinite allergique », les allergies respiratoires sont causées par une réaction exagérée de notre système immunitaire face à un allergène retrouvé dans l'atmosphère, qui est normalement inoffensif ! Ici, il s'agit du pollen. Lorsqu'il est reconnu par le corps comme étant nocif, il est nommé antigène. Selon la classification des réactions d'hypersensibilité établie par Philip George Houthem Gell et Robin Coombs en 1963, les rhinites correspondent à des réactions d'hypersensibilité de type I. Elles se caractérisent par une étape de sensibilisation suivie d'une réexposition. Durant la sensibilisation, l'antigène est détecté par une cellule présentatrice d'antigène (CPA) à travers laquelle l'antigène sera présenté aux lymphocytes T. Ces cellules faisant partie du système immunitaire adaptatif sont présentes pour promouvoir la formation d'anticorps spécifiques (IgE) à l'allergène en question. Ces derniers pourront par la suite se lier aux cellules ayant la capacité de libérer de l'histamine, les mastocytes. À ce moment-ci, notre corps se prépare à combattre l'antigène face à une éventuelle réexposition et aucun symptôme n'est ressenti. Lorsque l'allergène est de nouveau rencontré, la phase précoce est enclenchée et puisque notre corps est déjà armé, il ne faudra que quelques minutes pour déclencher une réaction allergique. L'allergène est immédiatement reconnu par les mastocytes puis l'histamine est libérée, c'est ce qu'on appelle la dégranulation. À elle seule, l'histamine déclenche une panoplie de mécanismes et est à la source d'une multitude de symptômes : l'hypersécrétion de mucus, le picotement des yeux et même la toux.

L'histamine joue un rôle dans la dilatation des vaisseaux sanguins, libérant ainsi le sang vers les tissus. Cela peut créer des zones d'inflammation et se manifester sous la forme d'un œdème ou même d'une sinusite. Ces symptômes, systémiques ou localisés, sont généralement ressentis deux à six heures suivant l'exposition. C'est la phase tardive. C'est à ce moment que nos cellules immunitaires se mettent à produire du leucotriène. Cette molécule inflammatoire possède les mêmes propriétés que l'histamine : elle attire d'autres types de cellules immunitaires dans les organes, où se trouve l'allergène, pour augmenter la réponse immunitaire. Elle peut continuer à agir même après la disparition de l'allergène. La forte présence de cette molécule dans les poumons serait l'un des liens entre les allergies respiratoires et l'asthme : elle favoriserait principalement l'hyperactivité des bronches.

Maintenant que vous avez une idée de la façon dont le corps réagit face aux allergènes, qu'en est-il de cet intrigant voyageur, notre adversaire, le grain de pollen ?



De quoi cet étrange pollen est-il constitué ?

Un gamète mâle, essentiel à la reproduction sexuée, est produit et libéré par un organe floral masculin : l'anthere. Il doit se trouver un moyen de transport vers sa destination ultime, un organe féminin : le stigmate. Il est collant et gluant pour pouvoir s'y accrocher facilement. Le centre du grain contient des granules qui sont allergènes et qui flottent dans une sorte de gelée : le cytoplasme. Il est enrobé de deux couches protectrices, la première est l'intine, constituant la couche interne, et l'exine, la couche externe.

Comment cet allergène est transporté jusqu'à nos poumons ?

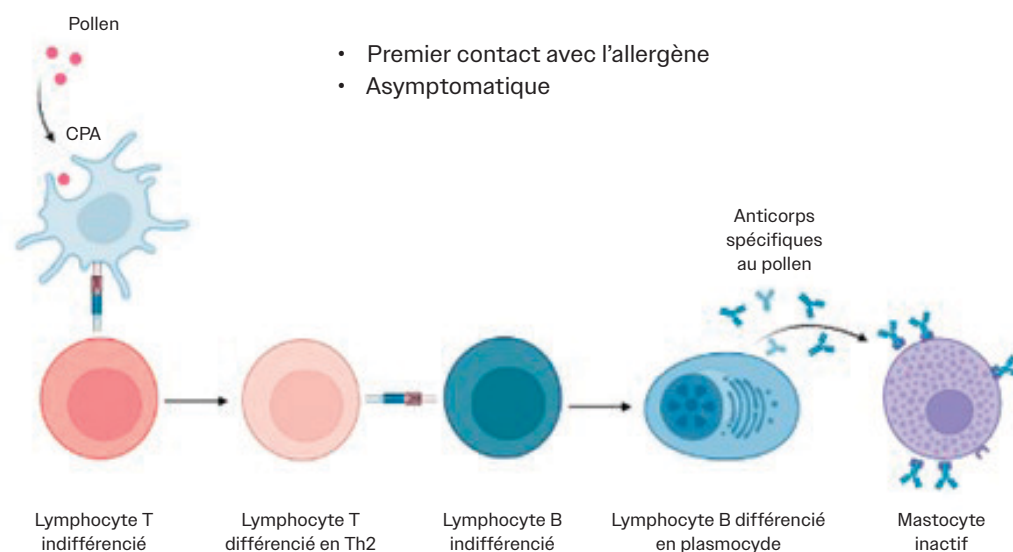
Si la vie d'une plante vous intéresse, sachez qu'à l'instar de chacun d'entre nous, tout débute avec un œuf fécondé : le zygote. Ce dernier se transforme en embryon, contenu et protégé par une graine, qui tombe en dormance en attendant sa dissémination, à la suite de laquelle elle pourra germer, faire émerger ses feuilles et grandir. Arrivée à maturité, dans un épanouissement total à la fois pour elle-même et pour les contemplatifs, elle fleurit.

C'est à ce moment précis que ce phénomène se produit. Entre la floraison et la fructification, qui bouclera le cycle en redonnant naissance à un nouveau zygote ? La pollinisation !

Les plantes qui peuvent se reproduire sans pollinisation ne nous causent aucun problème. Elles se clonent, et voilà ! Certaines fleurs peuvent également le faire de façon sexuée, sans nous importuner, car leur pollen est très gros et lourd. Il dépend des animaux et d'insectes pour être transporté. Il est accompagné par la production de nectar, qui est aussi agréable et qui sent aussi bon que les fleurs sont belles. Cependant, au fil de l'évolution, certaines plantes se sont retrouvées à disséminer leur pollen autrement. Celles-ci produisent un pollen tout petit et assez léger pour être transporté par un véhicule quelque peu inhabituel... le vent. Ainsi, ce pollen a le profil parfait pour pénétrer nos voies respiratoires ! De plus, alors que les insectes pollinisateurs, tels que les abeilles visent les stigmates des fleurs avec précision, le vent ne fait qu'éparpiller le pollen, qui est produit en très grande quantité par les fleurs pour s'assurer que quelques-uns atteindront une cible potentielle.

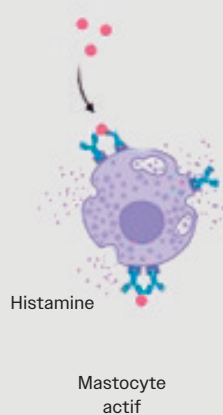
Sensibilisation

- Premier contact avec l'allergène
- Asymptomatique



Deuxième exposition

- Dégranulation
- Symptomatique



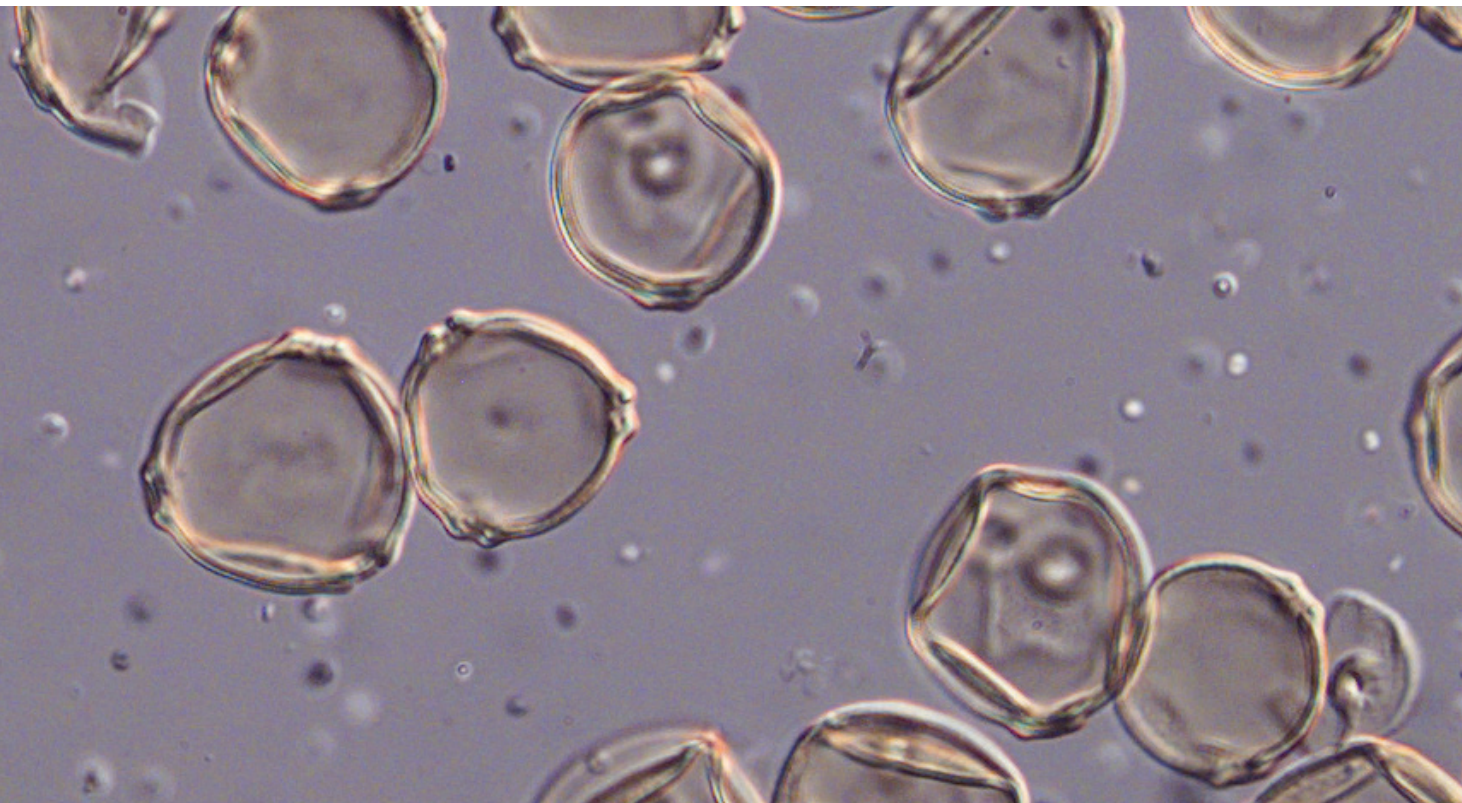
Ce fameux grain de pollen n'est pas si ordinaire

Avis à ceux qui s'émerveillent devant la beauté d'un flocon de neige : les grains de pollen n'ont rien à leur envier du point de vue de leur régularité et de leur esthétique. Ils sont d'une beauté inouïe. Il est en effet difficile de ne pas s'extasier devant ces petites boules échinulées quand la professeure Anne de Vernal de l'UQÀM nous parle de leur géométrie. Cette experte en palynologie, dont les travaux portent en partie sur les changements climatiques et la dynamique des océans, nous explique que telle une empreinte digitale, chaque espèce végétale est caractérisée par une forme spécifique de grains de pollen. Les chercheurs peuvent identifier l'espèce dont il provient, que le pollen ait été produit au printemps dernier ou il y a de cela 60 millions d'années, puisque les caractéristiques morphologiques n'ont pas changé, même après tout ce temps.

Ce qui a néanmoins changé, c'est la composition de l'air ambiant, de plus en plus altérée par les activités humaines. De plus, les grains de pollen ont tendance à s'agglomérer avec les particules indésirables des polluants atmosphériques pour former des complexes hautement allergènes. Lorsque les polluants interagissent avec des grains de pollen, leur couche externe, l'exine, est facilement fragilisée. Ainsi, les grains ont tendance à se rompre en cours de route et libèrent une quantité considérable de granules allergènes de très petite taille qui n'auraient pas dû se retrouver dans l'atmosphère, ayant pour conséquence de pénétrer plus profondément nos voies respiratoires.

Le saviez-vous ?

Plus de crises d'asthme surviennent lors des orages. En effet, les décharges électriques font éclater les grains de pollen qui libèrent ainsi leur contenu allergène dans l'air. Comme leur concentration dans l'atmosphère est plus grande de nos jours, vous devinez les conséquences...



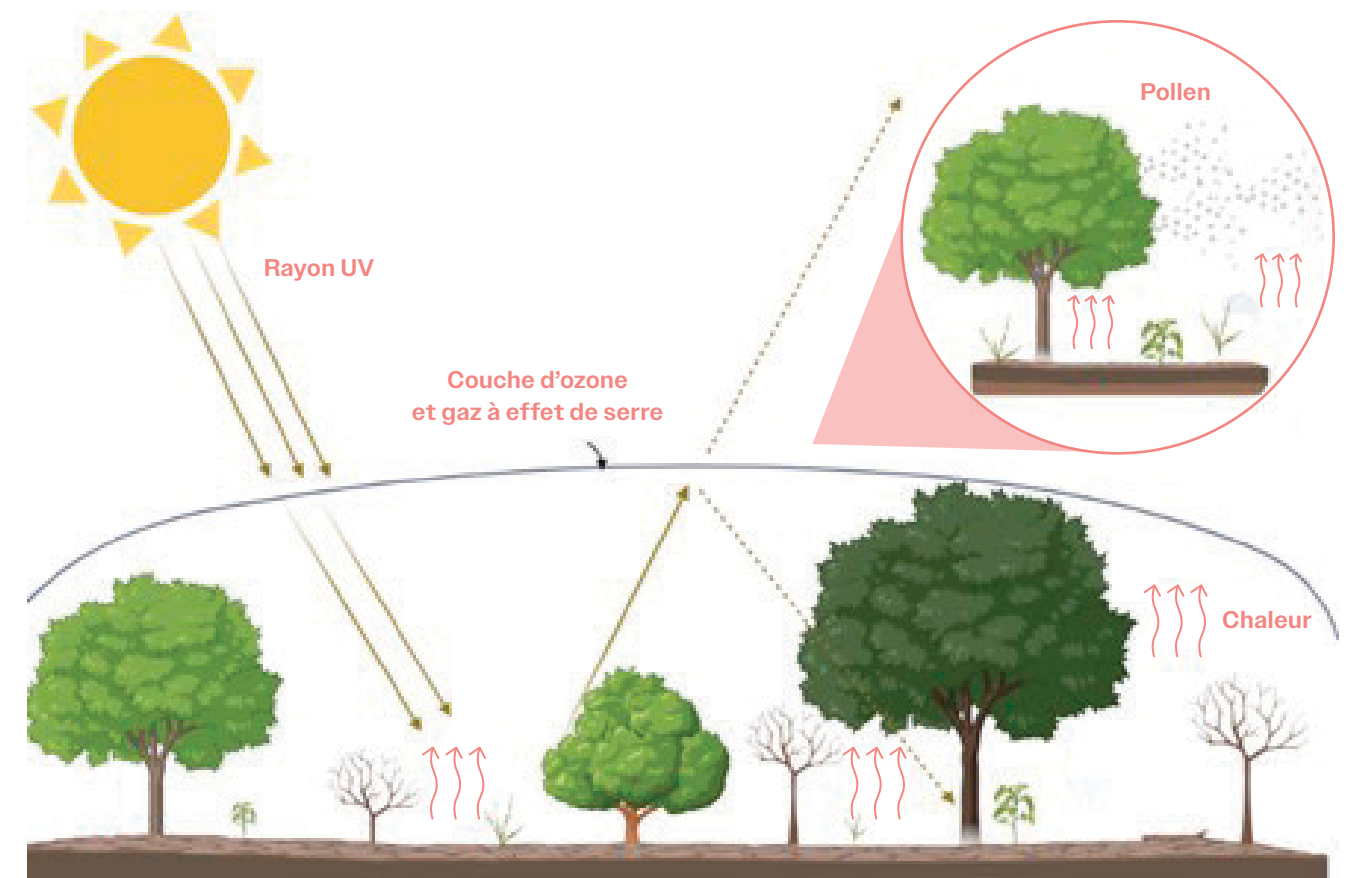
Pollen de bouleau blanc (*Betula papyrifera*) en microscopie

Comment le phénomène de changement climatique affecte-t-il la production de pollen ?

Les changements climatiques amplifient un grand nombre de perturbations qui affectent le cycle de vie des plantes. En raison des gaz à effet de serre libérés par les activités humaines, la chaleur en provenance du soleil est emprisonnée dans l'atmosphère et en ressort plus difficilement, menant à une augmentation de la température moyenne globale. Le réchauffement climatique a plusieurs impacts dont la fonte des glaciers et du pergélisol, qui ont tous les deux la capacité de libérer des gaz à effet de serre qui amplifient ce phénomène difficilement contrôlable. Dépendamment de l'endroit sur le globe, les changements climatiques peuvent affecter les plantes de diverses façons. Les températures grandement variables ou extrêmes, comme les sécheresses, ont des conséquences importantes sur l'environnement des plantes. Leur résistance est constamment testée et seules celles ayant les capacités pour vivre dans des climats aussi changeants, ou extrêmes, survivent. En plus de ces stress qui ont des répercussions majeures, certains changements environnementaux qui paraissent minimes ont un fort impact sur la flore. Un de ces changements est le raccourcissement de la saison froide. Bien que cette perturbation semble positive, la diminution du stress causé par l'hiver favorise la dominance des plantes, qui profitent de la chaleur pour croître davantage

que celles qui grandissent mieux à basse température. Avec ces changements climatiques, les plantes préférant la chaleur ont tendance à devenir envahissantes. La situation devient problématique, surtout si elles libèrent l'un des pollens les plus allergènes. Par conséquent, la diversité végétale et pollinique ambiante est diminuée. Les plantes qui survivent à toutes ces perturbations doivent s'adapter rapidement. Puisque la concentration en CO₂ atmosphérique augmente, leur capacité à faire de la photosynthèse est accentuée. Par le fait même, leur croissance l'est aussi. Alors, qui dit « plus de croissance » dit « plus de pollen dans notre atmosphère... » et qui dit « saison chaude hâtive » dit « floraison hâtive ». La concentration de pollen est donc plus grande et persiste, malheureusement pour certains, plus longtemps !

L'appauvrissement de la qualité de l'air n'est pas seulement dû à l'effet de serre engendré par le CO₂, mais également par l'augmentation des particules fines dans l'air. Ces particules, d'une taille inférieure à celle d'un grain de pollen, peuvent pénétrer nos voies respiratoires plus facilement et causer des irritations. Ces irritations répétées peuvent graduellement diminuer la résistance de nos voies respiratoires en interagissant négativement avec nos défenses antioxydantes.





Alors, c'est comment pour les citadins ?

Les villes ont la particularité d'abriter un plus haut taux d'allergènes que les campagnes. Une raison expliquant ce phénomène est que les urbanistes ne plantent généralement que des arbres mâles, sexe dégageant le pollen, augmentant ainsi la quantité d'allergènes dans l'air. Cette décision semble contre-intuitive, mais les mâles, contrairement aux femelles, ne produisent pas de fruits qui se retrouveraient au sol et saliraient les villes. Un autre phénomène expliquant une plus grande concentration de pollen en ville est que ces dernières possèdent une température moyenne plus élevée en raison de la faible quantité de végétaux présents. Ce phénomène correspond aux îlots de chaleur et se produit entre autres en réponse au manque de végétaux, qui permettraient de diminuer la température environnante. Les températures plus élevées permettent alors à certaines plantes de décaler leur pollen plus tôt et d'augmenter le taux d'allergènes dans les villes.

Certaines plantes ne nous importent pas, mais d'autres si...

Au Québec, plusieurs espèces d'arbres auraient la capacité de causer des réactions allergiques, tel que notre cher érable ainsi que le noisetier. Cependant, si l'on se concentre sur l'île de Montréal, les principales espèces causant des allergies sont les plantes herbacées comme l'ambrosie, nommée « herbe à poux », les graminées et même les orties. L'ambrosie serait responsable de plus de la moitié des rhinites allergiques saisonnières et son rôle de colonisateur primaire facilite sa dominance en lui permettant de coloniser les nouveaux territoires dépouillés de végétation par l'Homme. Les membres de la famille des bouleaux, les bétulacées, sont eux aussi avantagés par les perturbations climatiques et la destruction des écosystèmes. Toutefois, la caractéristique principale qui les rend allergènes est qu'ils produisent une quantité colossale de grains de pollen, tellement que la majorité du pollen présent à Montréal provient des bétulacées. « Surprenant, puisqu'ils sont très peu plantés sur l'île ! » s'étonne madame Tardif, doctorante en biologie à l'UQAM et spécialiste sur le lien entre les forêts urbaines et la santé humaine.

Plant d'herbe à poux (*Ambrosia artemisiifolia*)



En conclusion...

Les changements climatiques affectent bel et bien les allergies aux pollens en perturbant l'environnement et en permettant aux plantes, ayant un potentiel allergène, de coloniser leur milieu. C'est sans surprise que nous pouvons dire que les polluants atmosphériques augmentent les effets allergéniques de certains pollens, qui irritent les voies respiratoires et causent des réactions d'hypersensibilité de type I. Heureusement, divers traitements existent pour diminuer leur sévérité.

N'est-il pas étonnant qu'une plante innocente comme l'ambrosie, présente dans les villes, puisse causer tant de dégâts ? Paradoxalement, nous savons que ces végétaux nous offrent de nombreux services essentiels. Croyez-vous qu'il soit préférable de planter moins d'arbres, ou de réduire la pollution ? Encore mieux... si nous plantions plus d'arbres femelles en ville pour lutter contre les changements climatiques, seriez-vous prêts à tolérer la présence de fruits non récoltés ? Pourquoi ne pas en profiter pour créer de nouveaux emplois d'été pour les étudiants ?

Nous tenons à remercier tous ceux qui ont permis la réalisation de cette édition du *Point Biologique*, tout particulièrement ceux qui ont contribué *financièrement* à son succès. Sans leur aide, le **Point Biologique ne pourrait exister et sa *mission de partager et vulgariser les sciences biologiques* ne serait qu'une idée inachevée.**



Crédits des images

Page couverture : Karim Bouzidi Idrissi

Page 11 : Boris Radosavljevic

Page 12 : RyersonClark/iStock

Page 13 : ednHUB

Page 15 : Alex Matveev

Page 16 : Lynn Rosantrater

Page 17 : courtoisie de Tingjun Zhan, fournit par le National Snow and Ice Data Center, University of Colorado, Boulder

Page 19 : Matti&Keti

Page 21 : Freepik

Page 23 : Freepik

Page 26 : Freepik

Page 27 : Lpettet/Getty Images

Page 30 : Yakubov Alim/Getty Images

Page 31 : Happylittlestone

Page 33 : Laboratoire Maikel Rosabal (photographe)

Page 34 : Glencore Canada

Page 35 : Jurga Motiejūnaitė

Page 38 : Diane Pelchat (photographe)


Page 39 : Bonjour Québec - CLD Rouyn-Noranda

Page 41 : Freepik

Page 44 : Paleoanthropology group MNCN-CSIC

Page 46 : Fungi Foundation Collage via DoubleBlind

Page 54 : Bianca Fréchette, laboratoire de Anne de Vernal, professeur au département des sciences de la Terre et de l'atmosphère de l'UQAM



Le baccalauréat en biologie en apprentissage par problèmes (APP)

L'apprentissage par problèmes est une approche plus collaborative, où les étudiants.es travaillent en équipe de façon active. Cette méthode permet de développer des compétences en communication, en analyse de problèmes situationnels (PROSIT), en recherche d'informations avec un regard critique, en travail d'équipe ainsi qu'une capacité de synthèse et de vulgarisation. Toutes ces compétences sont extrêmement importantes pour le marché du travail.

Points forts du programme :

- Programme axé sur la pédagogie active et l'autonomie
- Grande proximité avec le cadre professoral
- Le premier cours se déroule au magnifique centre écologique de Saint-Michel-des-Saints
- Stage de recherche, en entreprise ou en enseignement
- Préparation aux études supérieures
- Possibilité de stage à l'étranger

Choix de trois axes pour la troisième année :

- Biologie moléculaire et biotechnologie
- Toxicologie et santé environnementale
- Écologie

Pour plus d'informations sur le programme, communiquez avec le module de biologie

2080, rue St-Urbain, Montréal, Québec, H2Z 3X8, Local SB-R810 | 514-987-3654 | moduledebiologie@uqam.ca